

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TOME XI.

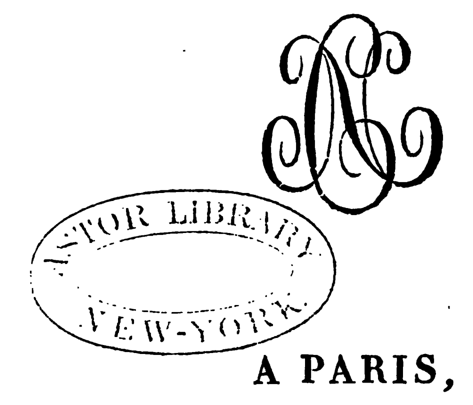
ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

Par MM. GAY-LUSSAC et ARAGO.

TOME ONZIÈME.



A PARIS,

Chez CROCHARD, Libraire, rue du Cloître Saint-Benoît, n° 16, près celle des Mathurins.

1819.

DE L'IMPRIMERIE DE FEUGUERAY,
rue du Cloître Saint-Benoît, n° 4.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

RAPPORT

Fait par M. Arago *à l'Académie des Sciences, au nom de la Commission qui avait été chargée d'examiner les Mémoires envoyés au concours pour le prix de la diffraction* (1).

L'Académie avait proposé au concours, pour le prix de physique qu'elle doit décerner dans la séance publique du mois de mars 1819, l'examen général des phénomènes de la diffraction de la lumière. Deux Mémoires seulement lui ont été adressés. Celui qui est inscrit sous le n° 2 ayant plus particulièrement fixé l'attention de vos commissaires, tant par l'exactitude des observa-

(1) Nous donnons ici ce Rapport tel qu'il a été lu à l'Académie, dans sa séance du lundi 15 mars 1819. Les détails qu'il a paru nécessaire d'y joindre en le publiant ont été rejetés dans des notes. (A.)

tions qu'il renferme que par la nouveauté des résultats, nous avons cru devoir en présenter une analyse détaillée.

Les physiciens qui, depuis Grimaldi, se sont occupés des phénomènes de la diffraction recevaient la lumière infléchie sur un écran blanc plus ou moins éloigné du corps opaque, ou sur un verre dépoli. Ces deux méthodes ont l'une et l'autre le défaut d'affaiblir considérablement l'éclat des couleurs, et de ne point se prêter à l'étude de la formation des bandes près de leur origine. Dans un Mémoire présenté à l'Académie en 1815, et qui depuis a été inséré dans les *Ann. de Chim. et de Phys.*, tome I, M. Fresnel avait annoncé que sans le secours d'un écran on peut, à toute distance, apercevoir les bandes avec une simple loupe, comme on aperçoit avec l'oculaire d'une lunette astronomique la peinture aérienne qui vient se former au foyer de l'objectif. En partant de cette remarque, l'auteur du Mémoire n° 2 a construit un instrument qui permet de suivre les bandes diffractées dans la lumière la plus affaiblie, et de déterminer leurs largeurs à *un* ou *deux* centièmes de millimètres près : il lui a suffi pour cela d'adapter la loupe à une vis micrométrique qui la fait marcher graduellement dans un sens ou dans l'autre, et perpendiculairement à la direction des bandes ; un fil délié, passant par le foyer de la loupe et qui se déplace avec elle, est le repère qu'on dirige, dans chaque expérience, sur le milieu de la partie la plus brillante ou la plus obscure de chaque frange ; enfin, à l'aide d'un cadran divisé en cent parties que parcourt une aiguille fixée à la vis, on évalue les centièmes de millimètre.

Tel est l'instrument dont l'auteur (1) du Mémoire n° 2 s'est servi. Ses principales expériences ont été faites dans la lumière rouge, sensiblement homogène, que transmet une espèce particulière de verre coloré qui ne se rencontre plus que dans quelques anciens vitraux d'église ; on avait ainsi la certitude d'opérer chaque jour sur des rayons de même nature, et d'obtenir des résultats parfaitement comparables.

L'auteur s'occupe d'abord des franges successivement obscures et brillantes qui bordent extérieurement l'ombre d'un corps opaque : en les suivant jusqu'à leur origine, à l'aide d'une lentille d'un court foyer, il aperçoit la troisième frange à une distance du bord du corps moindre que $\frac{1}{100}$ de millimètre, détruit par cela seul une erreur accréditée, et prouve que, pour tous les calculs relatifs à la déviation des rayons, dans le système de l'émission, il sera permis de supposer que ces rayons partent des bords mêmes des corps.

En choisissant d'abord, dans l'ensemble des observations, celles qui correspondent à une même distance du micromètre au corps opaque, on trouve qu'une simple variation dans l'éloignement du point éclairant en amène de très-sensibles dans les déviations angulaires des rayons, ou, en d'autres termes, dans les angles que les rayons directs et les rayons infléchis forment entre eux. Ainsi, le point de départ du faisceau lumineux étant, par exemple, à 100 millimètres du corps, l'angle de diffraction

(1) Lorsqu'après le jugement de la commission, le président de l'Académie a ouvert le billet cacheté qui accompagnait le Mémoire, on a appris que cet auteur était M. Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées.

pour les rayons rouges de la première frange, déterminé par des mesures prises à *un mètre* de distance, est de 12′.6″; tandis qu'on ne trouve que 3′55″ à cette même distance d'*un mètre* lorsqu'il y a 6 mètres entre le point lumineux et le bord du corps. On voit, en un mot, et ce résultat est très-remarquable, que chaque rayon paraît d'autant moins dévié qu'il vient de plus loin (1).

Si l'on passe ensuite aux mesures prises à diverses distances du corps, celle du foyer lumineux restant toujours la même, on trouvera pour l'angle de diffraction de chaque frange en particulier, des valeurs diffé-

---

(1) Voici quelques autres mesures que j'extrais du Mémoire, et qui feront également apercevoir combien l'intervalle compris entre le point éclairant et le corps opaque a d'influence sur la déviation qu'éprouve le rayon lumineux. On remarquera que la distance de ce corps au micromètre a été à très-peu près la même dans chaque expérience, et égale à un mètre.

DISTANCE du point lumineux au corps opaque.	DISTANCE du corps opaque au micromètre.	INTERVALLE compris entre le bord de l'ombre géométrique et le centre de la quatrième bande obscure.
		millim.
$0^m,510$	$1^m,005$	3,84
1,011	0,996	3,12
2,008	0,999	2,71
3,018	1,003	2,56
6,007	0,999	2,40.

Pour expliquer ce résultat dans les idées presque généralement adoptées jusqu'ici sur les phénomènes de la diffraction,

rentes, suivant qu'on l'observera plus ou moins loin du corps. De là résulte la conséquence singulière que les positions successives d'une même frange ne sont pas en ligne droite (1) : il est, du reste, facile de s'assurer

---

il faudrait admettre que l'*action répulsive* exercée par le corps opaque sur la lumière ne dépend pas seulement de la distance à laquelle passe la molécule lumineuse ; mais encore que cette action s'affaiblit très-vite à mesure que le corps s'éloigne du foyer rayonnant ; ce qui serait, il faut en convenir, une supposition bien étrange.

(1) Le corps opaque restant toujours à $3^{mèt},018$ du point lumineux, l'auteur du Mémoire mesura l'intervalle compris entre le bord de son ombre géométrique et le point le plus sombre de la troisième bande obscure, d'abord à $0^{m},0017$ de distance du corps ; ensuite à $1^{m}003$, et enfin, à $3^{m},995$. Ces intervalles se trouvèrent, dans le premier cas, de $0^{mill.},08$; dans le second, de $2^{mill.},20$, et enfin de $5^{mill.},85$. Si l'on joint maintenant par une ligne droite la première et la troisième position de la bande, on verra aisément qu'à $1^{m},003$ du corps opaque, la ligne droite en question est distante de l'ombre géométrique de $1^{mill.},52$; tandis que l'observation nous a appris que la troisième bande en était éloignée de $0^{mill.},68$ de plus, ou de $2^{mill.},20$: le point qui à $1^{m},003$ du corps se trouvait sur la droite, était intermédiaire entre les bandes obscures du premier et du second ordre. Voyez, du reste, à la fin de ce Rapport, la note (*a*), où j'ai transcrit d'autres observations de M. Fresnel qui prouvent de même, à l'égard des bandes de divers ordres, que leurs positions successives, pour un éloignement donné du point lumineux, forment une ligne courbe dont la concavité est tournée vers le corps opaque.

que les courbes qui joignent ces positions, pour les franges de tous les ordres, sont des hyperboles ayant pour communs foyers le point rayonnant et le bord du corps opaque. Dans quelques-unes des expériences rapportées par l'auteur du Mémoire, la flèche de courbure était de près d'*un millimètre*, c'est-à-dire, *cinquante* ou *soixante* fois plus grande que les erreurs dont les observations sont susceptibles.

Divers physiciens avaient déjà annoncé que les phénomènes de la diffraction ne dépendent point de *la nature* du corps que les rayons lumineux viennent raser. En confirmant ce résultat par des mesures dans lesquelles on ne remarque pas des différences d'*un* centième de millimètre, l'auteur du Mémoire y a ajouté cette circonstance non moins curieuse, que la forme du corps n'a également aucune influence; en sorte, par exemple, que les bandes diffractées ont précisément le même éclat et la même position, soit qu'elles aient été formées sur le dos d'un rasoir ou sur son tranchant (*b*).

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des franges extérieures; mais la lumière pénètre aussi *dans* l'ombre géométrique, l'éclaire et y forme une série de bandes obscures et brillantes. Le Dr Thomas Young, l'un des correspondans de l'Académie, a découvert, il y a quelques années, que si on intercepte avec un écran *un seul* des deux pinceaux lumineux qui viennent toucher les bords d'un corps étroit, la totalité des bandes intérieures s'évanouit, quoique le pinceau opposé ait continué sa route et se soit en partie répandu dans l'ombre, comme précédemment. De là, il résulte avec évidence que les franges intérieures sont formées par la

rencontre de ces deux faisceaux lumineux. M. Young démontre, au demeurant, cette influence réciproque des rayons qui se croisent sans faire intervenir dans son expérience les forces auxquelles on a l'habitude d'attribuer les phénomènes de la diffraction.

Pour cela, il introduit la lumière solaire dans une chambre obscure, par deux petits trous *peu éloignés*. Lorsqu'on reçoit *séparément* chaque faisceau sur un carton, on n'aperçoit rien de remarquable; mais si les deux faisceaux y parviennent *simultanément et se mêlent*, leur rencontre donne naissance à une série de franges obscures et brillantes, semblables aux franges intérieures. L'auteur du Mémoire présente une expérience analogue; mais d'où la même conséquence découle encore plus nettement, et qui, dans les applications, a sur celle que nous venons de rapporter l'important avantage de donner naissance à des bandes beaucoup plus vives. Il fait concourir deux faisceaux de rayons partant d'un même foyer et régulièrement réfléchis par deux miroirs métalliques légèrement inclinés entre eux, et dont les surfaces sont presque sur le même plan : dès-lors la portion commune des deux champs lumineux est parsemée de bandes brillantes et obscures, également espacées, et perpendiculaires à la ligne qui joint les deux images réfléchies, quelle que soit d'ailleurs la position de cette ligne relativement aux bords des miroirs.

Les *longueurs* des chemins parcourus par les rayons lumineux depuis leur point de départ jusqu'à celui de leur croisement, déterminent l'espèce d'influence que ces rayons exercent les uns sur les autres. Si l'on reçoit

les faisceaux sur un écran, on trouvera une frange brillante là où deux rayons auront parcouru précisément le même chemin : si la frange brillante voisine correspond à une différence de routes représentée par d, la 3me, la 4me, la 5me frange de même espèce s'observeront sur le carton dans des points pour lesquels les différences de routes seront $2d$, $3d$, $4d$, etc. Quant aux bandes obscures, elles correspondront toutes à des différences comprises dans la série arithmétique $\frac{1}{2}d$, $\frac{3}{2}d$, $\frac{5}{2}d$, etc. Ajoutons que la quantité d n'est pas la même pour les rayons de différentes couleurs, et qu'elle varie dans le même rapport que les longueurs des accès. Cette quantité, pour chaque espèce de rayons, est précisément le double de celle qui, d'après Newton, détermine le retour d'une molécule lumineuse au même accès de facile réflexion ou de facile transmission.

En se fondant sur les principes que nous venons d'énoncer, et dont on est redevable au Dr Thomas Young, l'auteur du Mémoire examine d'abord si les franges intérieures ne seraient pas le résultat de l'influence mutuelle de deux faisceaux infléchis dans l'ombre, *sur les bords mêmes* du corps opaque.

Dans cette hypothèse, les bandes intérieures devraient toujours être également espacées; leurs largeurs varieraient, pour des distances données, en raison inverse des diamètres des corps; ces largeurs, enfin, seraient indépendantes de la position du point éclairant. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. I, p. 261.) Tant que les bandes extrêmes sont suffisamment éloignées des limites de l'ombre géométrique, ces résultats s'accordent assez bien avec l'observation; dans les autres cas, on trouve quelque

différence entre la position calculée de chaque bande et sa place réelle : or, ces discordances, toutes légères qu'elles sont, surpassent sensiblement les petites incertitudes que comportent les observations de l'auteur.

Quant aux bandes extérieures, si on les suppose formées, comme il paraît d'abord naturel de le faire, par la rencontre de la lumière directe et des rayons réfléchis *sur le bord* du corps opaque, on trouve une bande brillante là où le calcul donne une bande obscure, et réciproquement. Pour que les lois déduites de l'expérience des deux miroirs s'appliquassent au cas que nous examinons ici, il faudrait donc admettre que les rayons réfléchis obliquement sur le bord du corps opaque se comportent comme si les chemins parcourus étaient plus courts qu'ils ne le sont en effet de la moitié de la quantité que nous avons désignée précédemment par *d*.

Telle est l'hypothèse sur laquelle MM. Young et Fresnel avaient fondé l'explication des bandes extérieures; mais l'auteur du Mémoire prouve qu'elle ne suffit pas; et en effet, dans quelques circonstances qu'il indique, la place réelle de la bande est distante de la place calculée de $\frac{17}{100}$ de millimètre, c'est-à-dire, d'une quantité six ou sept fois plus grande que l'incertitude des observations. Il fait en outre remarquer, indépendamment de toute mesure, que si les franges extérieures résultaient de la rencontre de la lumière directe et *des seuls rayons réfléchis* sur le bord du corps opaque, l'étendue et la courbure de ce bord auraient quelque influence sur leur intensité; ce qui est, comme nous l'avons déjà dit, contraire à l'expérience, puisque le tranchant et le dos d'un rasoir forment des franges parfaitement semblables. Il

faut donc admettre que des rayons qui passent à une distance sensible du corps sont écartés de leur direction primitive, et concourent aussi à la production du phénomène. Ce résultat important est confirmé d'ailleurs par plusieurs autres expériences que le Mémoire renferme (*c*).

Comment arrive-t-il maintenant que le faisceau continu et d'une largeur sensible qui passe dans le voisinage d'un corps, au lieu de donner sur l'écran qui le reçoit une lumière uniforme, produise une série de bandes brillantes séparées par des intervalles obscurs? Les bornes dans lesquelles nous devons nous renfermer ne nous permettront pas de suivre l'auteur dans cette recherche épineuse. Nous essaierons, toutefois, de donner une idée nette de l'hypothèse sur laquelle se fonde l'intégrale qu'il présente comme l'expression générale de tous les phénomènes de la diffraction.

L'auteur conçoit sur les bords du corps opaque une portion de sphère dont le centre serait dans le foyer rayonnant, et il suppose que de chaque point de cette surface partent des rayons lumineux élémentaires, dans toutes sortes de directions et avec des intensités sensiblement égales tant qu'ils s'écartent peu de la normale; il ne tient pas compte des rayons très-inclinés qui, dans son hypothèse, se détruisent mutuellement; il détermine enfin l'intensité de la lumière résultante du concours et des influences réciproques de tous les rayons peu inclinés sur la normale, en les assimilant à des forces qui feraient entre elles des angles proportionnels aux différences des chemins parcourus, la différence d, dont nous avons déjà parlé, répondant à une circonférence entière.

Par là, l'intensité de la lumière, dans tous les points de l'espace situés derrière le corps relativement au foyer rayonnant, se trouve représentée par une formule intégrale qui embrasse chaque cas particulier (1).

Cette formule, appliquée aux bandes extérieures, indique d'abord des variations périodiques dans l'intensité de la lumière qui avoisine l'ombre géométrique; elle montre que, dans aucun point, la lumière n'est tout-à-fait nulle; que la différence d'intensité entre une frange brillante et la frange obscure contiguë va continuellement en diminuant à mesure qu'on s'éloigne du corps, et qu'elle est déjà presque insensible dès le 9me ou le 10me ordre; ce qui est conforme aux observations. Elle fait voir aussi pourquoi les franges extérieures sont beaucoup moins nombreuses et moins vives que celles qui résultent de la rencontre de deux faisceaux lumineux partant d'un même foyer, et réfléchis, comme dans l'expérience que nous avons déjà citée, par deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre.

Le seul élément indéterminé que l'intégrale renferme est la quantité que nous avons désignée par *d*. L'auteur trouve, par diverses méthodes, que, dans la lumière rouge homogène transmise par son verre coloré, la valeur de *d* est égale à $\frac{64}{100\,000}$ de millimètre (*d*). Substituant ensuite cette valeur dans la formule générale, il en dé-

---

(1) Nous donnerons, dans un de nos plus prochains Cahiers, le chapitre entier du Mémoire de M. Fresnel dans lequel cette théorie, aussi neuve que délicate, se trouve exposée avec tous les détails convenables.

duit aisément la largeur des franges, pour toutes les positions du foyer lumineux et de l'écran.

L'auteur a réuni dans un seul tableau les résultats comparatifs du calcul et de 25 séries d'expériences renfermant chacune les observations de 5 ordres de franges ; ce qui donne en somme 125 mesures : la différence entre l'observation et sa théorie a atteint *une* seule fois $\frac{5}{100}$ de millimètre, *trois* fois $\frac{3}{100}$ et *six* fois $\frac{2}{100}$. Dans tous les autres cas, au nombre de 115, la discordance n'a jamais dépassé $\frac{1}{100}$ de millimètre, quoique les quantités mesurées se soient élevées jusqu'à 760 centièmes. Ajoutons, pour montrer combien dans toutes ces observations les circonstances ont été dissemblables, que la distance du point rayonnant au corps opaque a varié entre *un* décimètre et *six* mètres, et la distance de ce même corps à l'écran entre *deux* millimètres et *quatre* mètres.

Les franges produites par une ouverture étroite, celles qu'on observe dans l'intérieur de l'ombre géométrique d'un corps opaque, naissent et se propagent suivant les mêmes lois. Les mesures consignées dans le Mémoire sont représentées par les formules avec la précision des observations elles-mêmes.

L'un de vos commissaires, M. Poisson, avait déduit des intégrales rapportées par l'auteur, le résultat singulier que le centre de l'ombre d'un écran circulaire opaque devait, lorsque les rayons y pénétraient sous des incidences peu obliques, être aussi éclairé que si l'écran n'existait pas. Cette conséquence a été soumise à l'épreuve d'une expérience directe, et l'observation a parfaitement confirmé le calcul (*e*). Tout porte donc à croire que les

mêmes formules qui ont si fidèlement donné la place des *maxima* et des *minima* de lumière représenteront également les intensités comparatives des franges. Des observations de ce genre seraient d'un grand intérêt : nous convenons qu'elles sont très-délicates ; mais le physicien plein de sagacité dont nous venons d'analyser le travail a fait déjà de trop grands pas sur cette route pour qu'on ne doive pas espérer qu'il cherchera encore à confirmer sa théorie par des mesures d'intensité.

L'auteur du Mémoire inscrit sous le n° 1 est certainement un physicien exercé ; mais les moyens d'observation qu'il a employés n'étant pas suffisamment précis, quelques-uns des phénomènes que la lumière présente en passant par de petites ouvertures ou seulement dans le voisinage des corps opaques, ont échappé à son attention. L'auteur paraît n'avoir connu ni les travaux dont on est redevable au Dr Thomas Young, ni le Mémoire que M. Fresnel avait inséré, en 1816, dans les *Annales de Chimie et de Physique* : aussi la partie de son travail qui se rapporte aux influences que les rayons de lumière exercent ou semblent exercer les uns sur les autres en se mêlant, loin de rien ajouter à ce qui était déjà connu, renferme plusieurs erreurs évidentes : d'après cela, la commission s'est déterminée à accorder le prix au Mémoire inscrit sous le n° 2, et portant pour épigraphe : *Natura simplex et fecunda.*

(*a*) *Tableau renfermant les trajectoires des bandes de divers ordres, rapportées aux cordes qui passent par deux positions extrêmes de ces bandes.*

On a vu plus haut, dans le rapport, que les lignes qui passent par les positions successives d'une même bande ne sont

pas droites. Le tableau suivant, extrait du Mémoire de M. Fresnel, fait connaître, pour les bandes de divers ordres, la distance qui sépare les positions observées des positions calculées. Celles-ci sont déduites de la supposition que la bande est toujours située sur la droite qui joint le bord du corps opaque et la position observée la plus distante. Les mesures de M. Fresnel prouvent, en effet, qu'on peut, dans tous les cas et sans erreur sensible, admettre que les bandes partent du bord même du corps. On remarquera, du reste, que les résultats de la 4me série (*a*) sont entièrement indépendans de cette hypothèse, et que, pour ce cas, les cordes auxquelles les flèches de courbure sont rapportées partent des positions observées des divers ordres de bandes, à la distance de $1^{mill},7$ du corps opaque. On a réuni, dans chaque groupe séparé, toutes les observations pour lesquelles la distance du point radieux au corps opaque restait toujours la même.

DISTANCES du point radieux au corps opaque.	DISTANCES du corps opaque au micromètr.	FLÈCHES DE COURBURE pour les bandes de divers ordres.				
		1er ordre.	2e ordre.	3e ordre.	4e ordre.	5e ordre.
		1re *Série.*				
$0^{m},510$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m},110$	$0^{mm},19$	$0^{mm},29$	$0^{mm},35$	$0^{mm},40$	$0^{mm},44$
	0,501	0,14	0,21	0,25	0,30	0,34
	1,005	0	0	0	0	0
		2me *Série.*				
$1^{m},011$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m},116$	$0^{mm},23$	$0^{mm},35$	$0^{mm},42$	$0^{mm}49$	$0^{mm},$[illegible]5
	0,502	0,27	0,40	0,51	0,[illegible]7	0,63
	0,996	0,21	0,30	0,38	0,42	0,49
	2,010	0	0	0	0	0

ANCES point ieux corps ique.	DISTANCES du corps opaque au micromètr.	FLÈCHES DE COURBURE pour les bandes de divers ordres.				
		1er ordre.	2e ordre	3e ordre.	4e ordre.	5e ordre.
			3me *Série.*			
,008	0	0	0	0	0	0
	0^{m},118	0^{mm},26	0^{mm},38	0^{mm},47	0^{mm},54	0^{mm},60
	0,999	0,34	0,48	0,60	0,68	0,76
	2,998	0	0	0	0	0
érie (a), rapportée à la corde qui joint les observations extrêmes.						
,018	0^{m},0017	0	0	0	0	0
	0,253	0^{mm},30	0^{mm},45	0^{mm},56	»	»
	0,500	0,38	0,53	0,65	»	»
	1,003	0,38	0,56	0,68	»	»
	1,998	0,31	0,45	0,54	»	»
	3,002	0,17	0,23	0,28	»	»
	3,995	0	0	0	0	0
Série (b), rapportée à la corde qui part du bord du corps opaque.						
,018	0	0	0	0	0	0
	0^{m},0017	0^{mm},04	0^{mm}.06	0^{mm},08	»	»
	0,253	0,34	0,50	0,63	0^{mm},73	0^{mm},83
	0,500	0,41	0,58	0,72	0,85	0,94
	1,003	0,41	0,60	0,74	0,87	0,97
	1,998	0,32	0,48	0,57	0,67	0,75
	3,002	0,18	0,25	0,30	0,38	0,39
	3,995	0	0	0	0	0
			5me *Série.*			
,507	0	0	0	0	0	0
	0^{m},131	0^{mm},27	0^{mm},40	0^{mm},50	0^{mm},58	0^{mm},66
	1,018	0,32	0,48	0,59	0,71	0,81
	2,506	0	0	0	0	0
			6me *Série.*			
,007	0	0	0	0	0	0
	0^{m},117	0^{mm},23	0^{mm},35	0^{mm},42	0^{mm},49	0^{mm},53
	0,999	0	0	0	0	0

(*b*) Voici deux des expériences que rapporte l'aute pour prouver que la nature et la forme du corps n'infl pas sur la position des bandes diffractées : « J'ai recou » une glace non étamée d'une couche d'encre de Chine un » à une feuille mince de papier formant ensemble une épai » seur d'un dixième de millimètre. Avec la pointe d'u » instrument tranchant, j'ai tracé deux lignes parallèles, » j'ai enlevé soigneusement la portion de papier et d'enc » comprise entre ces deux traits, et qui adhéraient à la su » face du verre. Cette ouverture, mesurée au micromètre » s'est trouvée de $1^{mill.}$,17. J'ai pressé ensuite l'un cont » l'autre deux cylindres de cuivre de $14^{mill.}$,5 de diamètre » et en introduisant entre eux une lame graduée en form » de coin, je les ai écartés jusqu'à ce que l'intervalle qui le » séparait fût aussi de $1^{mill.}$,17. Ces cylindres, posés à côt » de la glace noircie, étaient comme elle à $4^{mèt.}$,015 du poin » lumineux et à $1^{mèt.}$,663 du micromètre. J'ai mesuré l » largeur des franges produites par ces deux ouvertures, et » comme on va voir, elles se sont trouvées parfaitemen » égales. Ces observations ont été faites dans la lumière » blanche.

» Intervalle compris entre les points les plus sombre » des deux bandes obscures du premier ordre, à la sépara- » tion du rouge bistre et du violet :

» Sur le verre, $1^{mill.}$,49; sur les cylindres, $1^{mill.}$,49.

» Intervalle compris entre les limites des deux frange » du 2me ordre, à la séparation du rouge et du vert :

» Sur le verre, $3^{mill.}$,22; sur les cylindres, $3^{mill.}$,22.

» Il serait difficile de trouver, quant à la masse et à l » nature des bords d'une ouverture, des circonstances plu » dissemblables que celles de l'expérience précédente. Da

des cas, la diffraction était produite par une couche mince d'encre de Chine; dans l'autre, deux cylindres de cuivre, de quatorze millimètres et demi de diamètre, et qui présentaient dès-lors aux rayons, sur les bords de l'ouverture, des masses et des surfaces considérables; et l'on voit cependant qu'il y a eu, dans les deux expériences, parité parfaite de dilatation du faisceau lumineux. »

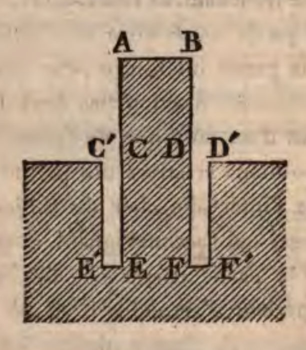
L'expérience qui suit montre d'une manière non moins évidente qu'on peut changer la *forme* du corps sans altérer pour cela, en aucune manière, la position des bandes diffractées.

« J'ai fait passer, dit l'auteur, un faisceau lumineux entre deux plaques d'acier très-rapprochées, dont les bords verticaux, bien dressés sur toute leur longueur, étaient tranchans dans une partie, arrondis dans une autre, et disposés de manière que le bord arrondi d'une des plaques répondait au tranchant de l'autre, et réciproquement. Il en résultait que le tranchant se trouvant à droite, par exemple, dans la partie supérieure de l'ouverture, était à gauche dans la partie inférieure. Par conséquent, pour peu que la différence d'action des deux bords eût porté les rayons plus d'un côté que de l'autre, je m'en serais aperçu aux positions relatives des parties supérieures et inférieures de l'intervalle clair du milieu, et surtout à celles des franges qui l'accompagnent, et qui auraient paru brisées dans la partie correspondante au point où le tranchant supérieur s'arrondissait et où commençait le tranchant inférieur de l'autre plaque. Mais en observant attentivement ces bandes, je n'ai remarqué aucun point de rupture ni d'inflexion dans toute leur longueur; elles étaient droites et continues comme si les plaques avaient été disposées de manière que les parties de même forme fussent opposées l'une à l'autre. On pourrait varier

» l'expérience, ajoute M. Fresnel, en composant ce
» qués de deux parties de natures différentes, et l'on o
» drait le même résultat. » Je me rappelle, en effet,
vu, il y a quelques années, dans le cabinet de ph
d'Arcueil, des lames ainsi composées de corps de di
natures, et qui cependant déviaient également la lu
dans toute leur étendue, comme MM. Berthollet et
l'avaient reconnu par des mesures multipliées et
précises.

(*c*) Les expériences qui suivent démontrent égal
qu'on ne peut pas attribuer les phénomènes de la diffr
aux seuls rayons qui touchent les bords des corps, et q
infinité de rayons séparés de ces bords par des intervall
sibles sont écartés de leurs directions primitives, et co
rent aussi à la production des franges.

« Ayant découpé, dit M. Fresnel, une feuille de
» dans la forme représentée par la figure ci-jointe,



» je la plaçai devant un point lumineux dans une ch
» obscure, et j'examinai son ombre avec une loupe
» voici ce que j'observai, en m'en éloignant graduell
» lorsque les franges produites par chacune des ouv
» très-étroites $CEE'C'$ et $DFF'D'$ étaient sor

» l'ombre géométrique de *CDEF*, qui ne recevait plus » alors qu'une lumière sensiblement blanche de chaque » fente considérée séparément, les franges intérieures pro- » venant du croisement de ces deux faisceaux lumineux » présentaient des couleurs beaucoup plus vives et plus » pures que celles des franges intérieures de l'ombre *ABDC*, » et avaient en même temps plus d'éclat. En m'éloignant » davantage, je voyais la lumière diminuer dans toute l'é- » tendue de l'ombre de *ABFE*; mais plus rapidement » dans *EFDC* que dans la partie supérieure; en sorte qu'il » y avait un instant où l'intensité de la lumière était la même » du haut en bas, après lequel les franges devenaient plus » obscures dans la partie inférieure (1), quoique leurs cou- » leurs fussent toujours beaucoup plus pures.

» S'il n'y avait de lumière infléchie que celle qui a rasé les » bords mêmes du corps opaque, les franges de la partie » supérieure devraient être plus nettes que celles de la partie » inférieure, et présenter des couleurs plus pures; car les » premières proviendraient du concours de deux systèmes » d'ondes ayant leurs centres sur les deux côtés *AC* et *BD*; » tandis que les autres seraient formées par le concours de » quatre systèmes d'ondes ayant leurs centres sur les bords » *C'E'*, *CE*, *DF*, *D'F'* : ce qui diminuerait nécessai- » rement la différence d'intensité des bandes obscures et » brillantes dans la lumière homogène, ou la pureté des cou- » leurs dans la lumière blanche, puisque les franges pro- » duites par les rayons réfléchis et infléchis sur *C'E'* et *DF* » ne coïncideraient pas parfaitement avec celles qui pro-

---

(1) Pour que cette différence d'éclat entre les deux parties de l'ombre puisse être bien prononcée, il faut que les fentes *CE* et *DF* soient très-étroites, et que la feuille de cuivre soit suffisamment éloignée du point lumineux.

» viendraient du concours des rayons partis de CE et » de $D'F'$: or, comme je viens de le dire, l'expérience » prouve le contraire. On pourrait expliquer, dans la même » hypothèse, comment il se fait que l'ombre de $ECDF$ est » mieux éclairée que celle de $ABDC$ par la double source » de lumière que fournissent les deux bords de chaque » fente ; mais il résulterait de cette explication même que la » partie inférieure devrait toujours conserver sa supériorité » d'éclat, et nous venons de voir qu'il n'en est pas ainsi.

» Il résulte des expériences que je viens de rapporter » qu'on ne peut pas attribuer les phénomènes de la diffrac- » tion aux seuls rayons qui touchent les bords des corps, et » qu'il faut admettre qu'une infinité d'autres rayons séparés » de ces corps par des intervalles sensibles, se trouvent néan- » moins écartés de leur première direction, et concourent » aussi à la formation des franges.

» La dilatation qu'éprouve un faisceau lumineux en pas- » sant par une ouverture très-étroite démontre d'une ma- » nière encore plus directe que l'inflexion de la lumière » s'étend à une distance sensible des bords du diaphragme. » C'est en réfléchissant sur ce phénomène que j'ai reconnu » l'erreur dans laquelle j'étais tombé d'abord. Lorsqu'on ap- » proche beaucoup l'une de l'autre deux lames opaques » placées devant un point lumineux dans une chambre ob- » scure, on voit l'espace éclairé par l'ouverture qui les » sépare s'élargir considérablement : ce sont les deux cou- » teaux de Newton. Je suppose que, comme dans son expé- » rience, les bords de l'ouverture soient tranchans et par- » faitement affilés, non que cela influe sur le phénomène, » mais seulement pour rendre plus évidente la conséquence » qu'on doit en tirer. La petite quantité de rayons qui ont » touché les tranchans étant répandue dans un espace aussi » étendu ne pourrait produire qu'une lumière insensible,

» ou du moins extrêmement faible, et au milieu de laquelle
» on devrait distinguer une bande brillante tracée par le
» pinceau des rayons directs. Il n'en est pas ainsi cepen-
» dant, et la teinte blanche paraît d'une intensité à-peu-près
» uniforme dans un espace beaucoup plus grand que la
» projection de l'ouverture (1); elle s'affaiblit ensuite, mais
» par degrés, jusqu'aux bandes obscures du premier ordre.
» C'était sans doute pour rendre raison de la quantité consi-
» dérable de lumière infléchie que Newton avait supposé
» que l'action des corps sur les rayons lumineux s'étendait à
» des distances très-sensibles; mais cette hypothèse ne peut
» soutenir un examen approfondi. »

(*d*) L'auteur détermine d'abord la longueur d'une ondulation, pour l'espèce particulière de verre coloré qu'il employait, à l'aide d'une méthode dont l'explication trouvera naturellement sa place dans le chapitre du Mémoire que nous nous proposons de publier prochainement.

Cette valeur, par une moyenne entre cinq déterminations très-peu différentes, s'est trouvée égale à $0^{\text{mill.}},000638$. Voici maintenant comment M. Fresnel confirme l'exactitude de ce résultat:

On peut appliquer aux franges formées par la rencontre de deux faisceaux lumineux réfléchis sur deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre, la formule à l'aide de laquelle M. Fresnel avait déterminé la largeur des franges qui s'observent dans l'ombre d'un corps étroit. Lorsqu'on suppose que ces

(1) « L'espace éclairé est d'autant plus grand par rapport à la projec-
» tion conique de l'ouverture, qu'on éloigne davantage du diaphragme
» le carton blanc sur lequel on reçoit son ombre, et que ce diaphragme
» est lui-même plus éloigné du point lumineux ; en sorte qu'en augmen-
» tant suffisamment ces deux distances, on pourrait obtenir le même effet
» avec une ouverture d'une largeur quelconque. »

dernières franges proviennent uniquement de la lumière infléchie dans l'ombre sur les bords mêmes du corps, leur largeur, ou l'intervalle compris entre deux *minima* consécutifs se calcule par la formule $\frac{b\lambda}{c}$ (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. I, p. 261). λ est la longueur de l'onde lumineuse, b la distance du corps au micromètre. Quant à c, il représentait la largeur du corps opaque ; par conséquent, dans le phénomène produit par deux miroirs, il doit représenter la distance entre les deux images du point lumineux.

« N'ayant pas pu me procurer des miroirs métalliques » assez exactement plans, je me suis servi, dit M. Fresnel, » de deux glaces non étamées travaillées avec une grande » perfection, que j'ai fait enduire d'un verni noir, par- » derrière, pour éteindre la seconde réflexion. Je les ai » fixées l'une à côté de l'autre sur un support avec de la » cire molle, en ne les pressant que très-légèrement pour » éviter les flexions. Un inconvénient qui résulte de cette » manière de les fixer, c'est qu'il arrive souvent qu'elles » changent un peu de position pendant l'expérience, et les » moindres variations rendent l'opération inexacte. Pour éviter » les erreurs de ce genre, j'ai eu soin de mesurer les franges » avant et après la mesure de l'intervalle compris entre les » deux images du point lumineux, afin de m'assurer qu'elles » n'avaient point changé de largeur pendant cette opéra- » tion. J'ai déterminé l'intervalle compris entre les deux » images du point lumineux, au moyen d'un écran placé » à une certaine distance du micromètre, et percé d'un » petit trou circulaire qui avait assez de longueur cependant » pour que le centre de son ombre, au lieu d'être clair et » dilaté, comme cela a lieu quand on se sert d'une ouver- » ture très-étroite, fût occupé par un cercle obscur d'une » très-petite étendue; ce qui rend les mesures plus pré-

» cises. Cet écran était assez éloigné des deux miroirs pour » que les bords du trou fussent suffisamment distans des li- » mites de la partie commune des deux champs lumineux, » de façon qu'elles n'eussent pas d'influence sensible sur les » franges centrales de ce petit trou. Je mesurais la distance » entre les centres des deux projections lumineuses du petit » trou, qui étaient disposées d'une manière symétrique rela- » tivement aux franges produites par les deux miroirs, et se » trouvaient à la hauteur du micromètre, en sorte que je » n'étais point obligé de changer sa position; ce qui est in- » dispensable, parce qu'il n'arrive presque jamais que ces » franges aient la même largeur dans toute leur étendue. » Connaissant d'ailleurs la distance du petit trou au micro- » mètre et aux deux images du point lumineux, je pouvais, » par une simple proportion, déterminer l'intervalle compris » entre ces deux images. Voici les résultats de mes observa- » tions : chaque mesure micrométrique a été prise au moins » quatre fois. »

Première Observation.

Distance du point lumineux aux miroirs......	$2^{m},323$
——— des miroirs au petit trou............	3,171
——— du petit trou au micromètre........	1,522
Distance totale ou valeur de *b*..............	$7^{m},016$

Intervalle entre les centres des deux projections lumineuses du petit trou.............................. $3^{mm},370$.

On en déduit pour l'intervalle entre les deux images du point lumineux.............................. $12^{mm},16$.

D'après ces données, on trouve pour la largeur de onze franges, au moyen de la formule $\frac{11\,b\lambda}{c}$ et de la valeur pré-

cédente de λ.............................. $4^{mm},05$

L'observation m'avait donné............... $4,06$

Différence...... $-0^{mm},01$.

Deuxième Observation.

Distance du point lumineux aux miroirs.....	$2^{m},321$
——— des miroirs au petit trou..........	$3,105$
——— du petit trou au micromètre........	$1,533$
Distance totale ou valeur de *b*............	$6^{m},959$

Intervalle entre les centres des deux projections lumineuses du petit trou...................... $4^{mm},14$.

On en déduit pour l'intervalle entre les deux images du point lumineux.......................... $14^{mm},65$.

D'après ces données, on trouve, pour la largeur de onze franges, au moyen de la formule $\frac{11\,b\lambda}{e}$........ $3^{mm},33$

L'observation m'avait donné............... $3,35$

Différence..... $-0^{mm},02$.

« On produit un phénomène absolument semblable à celui » que présentent deux miroirs légèrement inclinés entre eux, » en se servant d'un verre plan d'un côté, et dont l'autre sur- » face est composée de deux plans formant un angle saillant » très-obtus, afin que les deux images du point lumineux pro- » duites par ce verre soient assez rapprochées pour que les » franges aient une largeur suffisante et puissent être aperçues. » L'interposition de ce verre fait naître, comme la réflexion » sur deux miroirs, deux systèmes d'ondes lumineuses, dont » les intersections produisent des bandes obscures ou bril- » lantes, selon l'accord ou la discordance de leurs mouvemens » vibratoires. Il est évident que les mêmes formules doivent

» s'appliquer aux deux phénomènes. Voici les résultats d'une » expérience faite avec un verre prismatique, en suivant, du » reste, les mêmes procédés que dans les observations précé- » dentes sur les franges produites par deux miroirs : »

Distance du point lumineux au petit trou.....	$5^{m},877$
——— du petit trou au micromètre.........	$1,265$
Distance totale ou valeur de *b*.............	$7^{m},142$.

Intervalle entre les centres des projections lumineuses du petit trou........................... $4^{mm},66$.

On en déduit, pour l'intervalle entre les deux images du point lumineux........................... $21^{mm},65$.

D'après ces données, on trouve, pour la largeur de onze franges, au moyen de la formule $\frac{11 b \lambda}{c}$......... $2^{mm},31$

L'observation m'avait donné............... 2,30

Différence...... $+0^{mm},01$.

« D'après les observations de Newton sur les anneaux » colorés, la longueur d'ondulation des rayons rouges ex- » trêmes est $0^{mill.},000645$; celle des rayons à la séparation » du rouge et de l'orangé $0^{mill.},000596$, et par conséquent » celle des rayons rouges moyens $0^{mill.},000620$. Ainsi, la » longueur $0^{mill.},000638$ répondrait à un point du spectre » solaire un peu plus voisin de l'extrémité que du milieu du » rouge, si toutefois les résultats de Newton ne sont pas un » peu trop faibles, comme je serais porté à le croire. »

(*e*) M. Poisson, depuis le rapport de la commission, ayant fait remarquer à M. Fresnel que l'intégrale qui représente l'intensité de la lumière diffractée peut aisément s'obtenir pour le centre de l'ombre d'un écran ou d'une

ouverture circulaires ; celui-ci fit le calcul pour ce dernier cas, et trouva que l'expression générale d'intensité devenait alors semblable à celle de la lumière réfléchie dans le phénomène des anneaux colorés ; que ses *minima* étaient tout-à-fait nuls et devaient présenter ainsi un noir à-peu-près parfait, dans une lumière sensiblement homogène ; du moins pour les trois premiers ordres, où le défaut d'homogénéité de la lumière rouge employée ne se faisait pas encore trop sentir : c'est aussi ce que l'expérience a confirmé. En plaçant le foyer de la loupe du micromètre aux distances calculées, on apercevait comme une tache d'encre au centre de l'ouverture circulaire.

En observant le phénomène dans la lumière blanche, et en se rapprochant graduellement de l'ouverture, on voyait le centre de sa projection présenter successivement toutes les teintes qu'on observe dans les franges produites par le concours de deux faisceaux lumineux réfléchis sur deux miroirs, et avec le même degré de vivacité. M. Fresnel, après avoir calculé pour une distance donnée et pour une ouverture circulaire dont il avait mesuré le diamètre, l'intensité de chacune des sept principales espèces de rayons simples, substitua les nombres qu'il avait ainsi obtenus, dans la formule empirique de Newton qui sert à déterminer la teinte produite par un mélange quelconque de rayons colorés, et trouva un résultat conforme à l'observation. On peut regarder cette expérience comme une vérification des formules de M. Fresnel, sous le rapport de l'intensité de la lumière diffractée ; on voit, du moins, qu'elles représentent les intensités relatives des différentes espèces de rayons.

Sur la Figure de la Terre.

Par M. de Laplace.

(Lu à la séance du Bureau des Longitudes, du mercredi 26 mai 1819.)

Les expériences multipliées du pendule ont fait voir que l'accroissement de la pesanteur suit une marche fort régulière et à très-peu près proportionnelle au carré du sinus de la latitude. Cette force étant la résultante des attractions de toutes les molécules terrestres ; ses observations, comparées à la théorie des attractions des sphéroïdes, offrent le seul moyen qui puisse nous faire pénétrer dans la constitution intérieure de la terre. Il en résulte que cette planète est formée de couches dont la densité croît de la surface au centre, et qui sont disposées régulièrement autour de ce point. J'ai publié à la fin de la *Connaissances des Temps de* 1821, le théorème suivant que j'ai démontré dans le second volume des *nouveaux Mémoires de l'Académie des Sciences.*

« Si l'on prend pour unité la longueur du pendule à » secondes à l'équateur, et si à la longueur de ce pen- » dule observée à un point quelconque de la surface » du sphéroïde terrestre, on ajoute la moitié de la hau- » teur de ce point au-dessus du niveau de l'Océan, di- » visée par le demi-axe du pole, hauteur que donne » l'observation du baromètre, l'accroissement de cette » longueur ainsi corrigée sera, dans l'hypothèse d'une » densité constante au-dessous d'une profondeur peu

» considérable, égal au produit du carré du sinus de » la latitude, par cinq quarts du rapport de la force » centrifuge à la pesanteur à l'équateur, ou par 43 dix » millièmes. »

Ce théorême est généralement vrai, quelles que soient la densité de la mer et la manière dont elle recouvre en partie la terre.

Les expériences du pendule faites dans les deux hémisphères s'accordent à donner au carré du sinus de la latitude, un plus grand coefficient à fort peu près égal à 54 dix millièmes. Il est donc bien prouvé par ces expériences, que la terre n'est point homogène dans son intérieur, et que les densités de ses couches croissent de la surface au centre.

Mais la terre hétérogène dans le sens mathématique, serait homogène dans le sens chimique, si l'accroissement de la densité de ses couches n'était dû qu'à l'accroissement de la pression qu'elles éprouvent à mesure qu'elles sont plus près du centre. On conçoit, en effet, que le poids immense des couches supérieures peut augmenter considérablement leur densité, dans le cas même où elles ne seraient pas fluides; car on sait que les corps solides se compriment par leur propre poids. La loi des densités résultantes de ces compressions étant inconnue, nous ne pouvons savoir jusqu'à quel point la densité des couches terrestres peut ainsi s'accroître. La pression et la chaleur que nous pouvons produire sont toujours très-petites relativement à celles qui existent à la surface et dans l'intérieur du soleil et des étoiles. Il nous est impossible d'avoir une idée même approchée des effets de ces forces réunies dans ces grands corps. Tout

porte à croire qu'elles ont existé primitivement à un haut degré sur la terre, et que les phénomènes qu'elles ont fait éclore, modifiés par leur diminution successive, forment l'état actuel de la surface de notre globe; état qui n'est qu'un élément de la courbe dont le temps ferait l'abscisse, et dont les ordonnées représenteraient les changemens que cette surface éprouve sans cesse. On est loin de connaître la nature de cette courbe; on ne peut donc pas remonter avec certitude à l'origine de ce que nous voyons sur la terre; et si, pour reposer l'imagination toujours inquiète d'ignorer la cause des phénomènes qui nous intéressent, on hasarde quelques conjectures, il est sage de ne les présenter qu'avec une extrême circonspection.

La densité d'un gaz quelconque est proportionnelle à sa compression, lorsque la température reste la même. Cette loi, trouvée juste dans les limites de densité des gaz où nous avons pu l'éprouver, ne peut évidemment convenir aux liquides et aux solides, dont la densité est très-grande relativement à celle des gaz, lorsque la pression est très-petite ou nulle. Il est naturel de penser que ces corps résistent d'autant plus à la compression, qu'ils sont plus comprimés; en sorte que le rapport de la différentielle de la pression à celle de la densité, au lieu d'être constant comme dans les gaz, croît avec la densité. La fonction la plus simple qui puisse représenter ce rapport est la première puissance de la densité, multipliée par une constante. C'est celle que j'ai adoptée, parce qu'elle réunit à l'avantage de représenter de la manière la plus simple ce que nous savons sur la compression des liquides et des solides,

celui de se prêter facilement au calcul dans la recherche de la figure de la terre. Jusqu'ici les géomètres n'avaient point fait entrer dans cette recherche l'effet résultant de la compression des couches. M. Young vient d'appeler leur attention sur cet objet, par la remarque ingénieuse que l'on peut expliquer de cette manière, l'accroissement de densité des couches du sphéroïde terrestre. J'ai pensé que l'on verrait avec quelque intérêt l'analyse suivante (1), de laquelle il résulte qu'il est possible de satisfaire ainsi à tous les phénomènes connus, dépendans de la loi de densité de ces couches. Ces phénomènes sont : les variations des degrés des méridiens et de la pesanteur, la précession des équinoxes, la nutation de l'axe terrestre, les inégalités que l'aplatissement de la terre produit dans le mouvement de la lune; enfin, le rapport de la moyenne densité de la terre à celle de l'eau, rapport que Cavendish a fixé, par une très-belle expérience, à cinq et demi. En partant de la loi précédente sur la compression des liquides et des solides, je trouve que si l'on suppose la terre formée d'une substance homogène dans le sens chimique, dont la densité soit deux et un quart de celle de l'eau commune, et qui, comprimée par une colonne verticale de sa propre substance, égale à la millionième partie du demi-axe du pole, augmente en densité de 5,5345 millionièmes de sa densité primitive; on satisfait à tous ces phénomènes. L'existence d'une telle substance est très-admissible, et

---

(1) Cette analyse paraîtra dans le volume de la *Connaissance des Temps pour l'année* 1822, actuellement sous presse.

il y en a vraisemblablement de pareilles à la surface de la terre.

Si la terre était entièrement formée d'eau, et si l'on suppose, conformément aux expériences de Canton, que la densité de l'eau à la température de dix degrés et comprimée par une colonne d'eau de dix mètres en hauteur, augmente de 44 millionièmes, l'aplatissement de la terre serait $\frac{1}{360}$; le coefficient du carré du sinus de la latitude dans l'expression de la longueur du pendule à secondes, serait 59 dix millièmes; et la densité moyenne de la terre serait neuf fois celle de l'eau. Tous ces résultats s'écartent des observations, au-delà des limites des erreurs dont elles sont susceptibles.

Je suppose la température uniforme dans toute l'étendue du sphéroïde terrestre; mais il est possible que la chaleur soit plus grande vers le centre, et cela serait ainsi dans le cas où la terre, douée primitivement d'une grande chaleur, se refroidirait continuellement. L'ignorance où nous sommes de la constitution intérieure de cette planète, ne nous permet pas de calculer la loi de ce refroidissement et la diminution qui en résulte dans la température moyenne des climats; mais nous pouvons établir d'une manière certaine, que cette diminution est insensible depuis deux mille ans.

Imaginons dans un espace d'une température constante, une sphère douée d'un mouvement de rotation; concevons ensuite qu'après un long temps la température de l'espace diminue d'un degré; la sphère finira par prendre ce nouveau degré de température; sa masse n'en sera point altérée; mais ses dimensions diminueront d'une quantité que je suppose être un cent millième; ce

qui a lieu à-peu-près pour le verre. En vertu du principe des aires, la somme des aires que chaque molécule de la sphère décrit autour de son axe de rotation sera, dans un temps donné, la même qu'auparavant. Il est facile d'en conclure que la vitesse angulaire de rotation sera augmentée d'un cinquante millième. Ainsi, en supposant que la durée de la rotation soit d'un jour ou de cent mille secondes décimales, elle sera diminuée de deux secondes par la diminution d'un degré dans la température de l'espace. Si l'on étend cette conséquence à la terre, et si l'on considère que la durée du jour n'a pas varié, depuis Hypparque, d'un centième de seconde, comme je l'ai fait voir par la comparaison des observations avec la théorie de l'équation séculaire de la lune, on jugera que depuis cette époque la variation de la chaleur intérieure de la terre est insensible. A la vérité, la dilatation, la chaleur spécifique, la perméabilité plus ou moins grande à la chaleur et la densité des diverses couches du sphéroïde terrestre, toutes choses inconnues, peuvent mettre une différence sensible entre les résultats relatifs à la terre, et ceux de la sphère que nous venons de considérer, suivant lesquels une diminution d'un centième de seconde dans la durée du jour répond à une diminution d'un deux centièmes de degré dans la température. Mais cette différence ne peut jamais élever d'un deux centièmes de degré à un dixième la perte de la chaleur terrestre, correspondante à la diminution d'un centième de seconde dans la durée du jour. On voit même que la diminution d'un centième de degré près de la surface suppose une diminution plus grande dans la température des couches inférieures; car on sait qu'à la

longue la température de toutes les couches diminue suivant la même progression géométrique ; en sorte que la diminution d'un degré près de la surface répond à des diminutions plus grandes dans les couches plus voisines du centre. Les dimensions de la terre et son moment d'inertie diminuent donc plus que dans le cas de la sphère que nous avons imaginée. Il suit de là, que si, dans la suite des temps, on observe quelque changement dans la hauteur moyenne du thermomètre placé au fond des caves de l'Observatoire, il faudra l'attribuer, non à une variation dans la température moyenne de la terre, mais à un changement dans le climat de Paris, dont la température peut varier par beaucoup de causes accidentelles. Il est remarquable que la découverte de la vraie cause de l'équation séculaire de la lune nous fasse connaître en même temps l'invariabilité de la durée du jour, et celle de la température moyenne de la terre, depuis l'époque des plus anciennes observations.

Ce dernier phénomène nous porte à penser que la terre est parvenue maintenant à l'état permanent de température qui convient à sa position dans l'espace et relativement au soleil. On trouve par l'analyse, que, quelles que soient la chaleur spécifique, la perméabilité à la chaleur et la densité des couches du sphéroïde terrestre, l'accroissement de la chaleur à une profondeur très-petite par rapport au rayon de ce sphéroïde, est égal au produit de cette profondeur, par l'élévation de température de la surface de la terre au-dessus de l'état dont je viens de parler, et par un facteur indépendant des dimensions de la terre, qui ne dépend que des qualités de sa première couche relatives à la chaleur. D'après ce que l'on

sait de ces qualités, on voit que si cette élévation était de plusieurs degrés, l'accroissement de la chaleur serait très-sensible aux profondeurs où nous avons pénétré, et où cependant les observations ne l'ont pas fait reconnaître.

(*Note du Rédacteur.*) Nous avons pensé que nos lecteurs ne seraient pas fâchés de trouver ici quelques détails sur la méthode à l'aide de laquelle M. de Laplace a établi la constance de la durée du jour.

Un jour solaire moyen est égal au temps que la terre emploie à faire une révolution complète sur elle-même, augmenté du mouvement moyen apparent du soleil dans ce même intervalle. La théorie a prouvé que le mouvement moyen apparent du soleil, comme celui de toutes les planètes, est constant. La durée du jour solaire ne pourra donc varier que par un changement dans la vitesse de rotation de la terre.

On appelle mois lunaire l'intervalle de temps que la lune emploie à revenir à la même position relativement au soleil; à sa conjonction, par exemple. Cet intervalle est évidemment indépendant de la vitesse de rotation de la terre : notre globe cesserait même tout-à-fait de tourner sur son centre, que le mouvement de translation de la lune n'en éprouverait aucune altération. De là découle un moyen très-simple de découvrir si la durée du jour solaire a changé.

Supposons en effet qu'on détermine maintenant, par des observations directes, la durée d'un mois lunaire, c'est-à-dire, combien de jours et de fractions de jour la lune emploie à revenir à sa conjonction avec le soleil. Il est clair qu'en répétant cette observation à une autre époque, on trouvera un résultat différent si la durée du jour n'a pas été constante, alors même que, dans l'intervalle, la vitesse de

la lune n'aura pas changé : le mois paraîtra plus long, par exemple, si la durée du jour a diminué, et plus court, au contraire, si le jour est devenu plus long. La constance du mois lunaire serait l'indice de l'invariabilité de la durée du jour.

Or, toutes les observations concourent à prouver que depuis les Chaldéens jusqu'à nous, *la durée* du mois lunaire a été graduellement en diminuant. Il faut donc, d'après ce qui précède, ou que la vitesse de la lune se soit accrue, ou que le jour solaire soit devenu plus long. Mais M. de Laplace a découvert, par la théorie, qu'il y a, dans le mouvement de la lune, une inégalité connue sous le nom d'*équation séculaire,* qui dépend de la variation d'excentricité de l'orbe terrestre, et dont la valeur, dans chaque siècle, peut être déduite de ce changement d'excentricité. A l'aide de cette équation, on rend parfaitement compte de l'accroissement de vitesse en question. Il n'y a donc plus aucun motif de supposer que la durée du jour n'est pas sensiblement constante.

Admettons, en effet, pour un moment, comme le fait M. de Laplace, que cette durée surpasse maintenant d'un centième de seconde décimale celle du temps d'Hypparque. La durée du siècle actuel ou de 36525 jours solaires serait donc plus longue qu'il y a deux mille ans (on sait qu'Hypparque vivait environ cent vingt ans avant notre ère) de 365",25 décimales. Dans cet intervalle de temps, la lune décrit un arc de 534",6 décimales. Cette quantité exprimerait donc la différence entre les arcs parcourus par la lune, dans un siècle, à l'époque actuelle et du temps d'Hypparque : or, comme ces arcs, déterminés par l'observation et corrigés de l'équation séculaire, ne diffèrent pas d'une aussi grande quantité, on doit en conclure que, dans ce long intervalle, la durée du jour n'a pas varié d'un centième de seconde décimale.

Sur *l'oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau.*

M. Marshall Hall (1) et M. Guibourt (2) ont publié dernièrement chacun un *Mémoire sur l'oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau.* Les résultats auxquels ils sont parvenus ne sont pas les mêmes; mais en les comparant entre eux et à ceux qu'on connaissait déjà, il est facile de sortir de l'incertitude produite par leur discordance.

On avait admis généralement que le fer décompose lentement l'eau à de basses températures, et qu'il en dégage de l'hydrogène. M. Hall conclut, au contraire, de ses expériences :

1°. Que l'eau bien purgée de l'oxigène qu'elle tient ordinairement en dissolution, et bien isolée du contact de l'air, ne peut oxider le fer à une température ordinaire;

2°. Que l'oxigène ou l'air parfaitement secs ne peuvent non plus altérer ce métal;

3°. Mais que, par le concours simultané de l'eau et de l'air, l'oxidation s'opère très-facilement : c'est l'air qui fournit l'oxigène, et l'eau ne paraît être qu'un intermédiaire, à la vérité, très-nécessaire, par lequel l'oxigène est saisi et transmis au fer; ou plutôt peut-être, la

(1) *The quarterly Journal*, ou *Journal de l'Institution royale*. VII. 55.

(2) *Journal de Pharmacie*. IV. 241.

présence de l'oxigène, sous forme d'hydrate, est nécessaire pour l'oxidation du métal.

M. Hall a plongé des feuilles de fer dans de l'eau bien purgée d'air et à la température ordinaire : au bout de plusieurs jours, il ne s'était dégagé aucune bulle d'hydrogène, et le fer avait conservé son éclat. Par une ébullition prolongée, on peut dépouiller l'eau de l'air qu'elle renferme ; mais on réussit beaucoup plus sûrement en la laissant quelque temps en contact avec de la limaille de fer, ou avec de la tôle polie. Dans de l'eau dont on n'a point séparé l'air atmosphérique, l'oxidation se manifeste promptement et le métal perd son éclat : l'oxide qui se forme est constamment d'un rouge brun si l'eau a le contact de l'air ; mais si on la tient dans un vase fermé, l'oxide, d'abord de la même couleur que le précédent, devient d'un noir verdâtre. Ce changement ne s'opère qu'autant que l'oxide est en contact avec le fer ; car, s'il ne le touche pas, il conserve sa couleur primitive.

Un morceau de tôle couvert avec de la mousseline humectée, a été laissé dans l'air jusqu'à ce qu'il se fût formé une portion considérable d'oxide rouge. La tôle a été coupée alors en deux parties : l'une a été placée dans une bouteille remplie d'eau bien privée d'air ; la mousseline et l'oxide de l'autre partie, après avoir été séparés du fer, ont été plongés dans la même bouteille.

Cette dernière portion d'oxide a retenu constamment sa couleur, tandis que la première a pris successivement une couleur d'un vert obscur. L'oxide vert devient de nouveau d'un brun rouge si on l'expose humide à

l'action de l'air ; mais s'il est bien sec, il n'éprouve aucune altération.

Lorsque l'eau dans laquelle on a mis du fer a le contact de l'air, elle absorbe successivement de nouvelles portions d'oxigène qu'elle transmet au fer; et si le volume de l'air est limité, il finit par ne plus contenir que de l'azote. Priestley a depuis long-temps fait la même observation. On peut en déduire un nouveau procédé pour faire l'analyse de l'air : en plongeant de la tôle polie et couverte de mousseline humectée dans un gaz, on y découvre, par la rouille qui se forme sur le fer, la plus légère trace d'oxigène. Dans l'azote, l'hydrogène et l'acide carbonique confinés sur de l'eau pure, le fer couvert de mousseline humectée conserve son lustre pendant plusieurs mois. Il paraît par conséquent que la décomposition de l'eau par le fer, qu'on avait admise jusqu'à présent, n'a point lieu à une température ordinaire.

M. Hall, en s'appuyant sur ses expériences, combat l'opinion admise par les chimistes, qu'il se forme de l'ammoniaque lorsqu'on met de la limaille de fer humectée en contact avec de l'air (1). Il cite pour preuves principales ; 1° que le fer ne décompose pas l'eau ; 2° qu'un morceau de tôle couvert de mousseline humide n'éprouve pas le moindre changement dans le gaz azote ; 3° qu'en laissant pendant plusieurs jours de la limaille de fer humectée sur les parois d'une retorte contenant 12 pintes, il n'a aperçu aucune trace d'am-

---

(1) *Annales de Chimie.* II. 260.

moniaque par la distillation. Nous allons maintenant donner l'extrait du travail de M. Guibourt.

Le résultat général de M. Guibourt est que le fer décompose l'eau par lui-même et à froid, et que cette décomposition augmente avec la température. Cependant plusieurs de ses expériences ont donné un résultat contraire, et il est nécessaire d'indiquer les circonstances dans lesquelles les unes et les autres ont été faites.

De la limaille de fer contenue dans une capsule de porcelaine a été laissée pendant plus de trois semaines dans de l'eau privée d'air par une longue ébullition, et à la température ordinaire. Au bout de ce temps, le fer n'avait point perdu son éclat, et il ne s'était dégagé aucune bulle d'hydrogène. (*Expér.* 1re, p. 244.) Une seconde expérience a donné le même résultat : à la température de 25°, il ne s'est encore dégagé aucun gaz, et ce n'est qu'après l'avoir élevée entre 50 et 60 degrés que l'eau a commencé à se décomposer ; en quelques jours, on a pu recueillir assez d'hydrogène pour l'enflammer. (*Expér.* 5me, p. 247.) Ainsi, il paraît clair, par ces deux expériences, que l'eau pure n'est pas décomposée par le fer à une température ordinaire.

Dans les expériences suivantes, au contraire, M. Guibourt a obtenu de l'hydrogène, et souvent en quantité considérable.

Ayant mis de la limaille de fer sur du mercure dans de l'eau bien bouillie, l'hydrogène s'est manifesté dès le second jour, et, au bout de douze, il occupait un centilitre et demi : la température était d'environ 12°. Lavoisier avait obtenu un résultat semblable. (*Mémoir. de l'Acad.* 1781, p. 478.)

Dans cette expérience, le mercure peut avoir déterminé la décomposition de l'eau par son contact avec le fer, et elle n'est par conséquent point concluante ; mais, dans d'autres, l'eau a été décomposée sans l'intervention du mercure. Six kilogrammes de limaille de fer bien lavée pour en séparer la rouille, ont été laissés dans un pot et couverts d'environ un centimètre d'eau. Dès le premier jour, on a senti l'odeur de l'hydrogène ; néanmoins, au bout de plusieurs jours, on n'avait pu recueillir une quantité sensible de gaz. On a alors porté le mélange dans une étuve dont la température était de 20 à 25 degrés. Dès le lendemain, il a donné de l'hydrogène, et, en quelques jours, le dégagement de ce gaz est devenu très-considérable. Le fer, retiré de l'étuve et placé dans un lieu dont la température était seulement de 12°, donnait encore un peu d'hydrogène au bout de quarante-huit heures. Après ces divers essais, on lui a donné le contact de l'air en enlevant l'eau qui le recouvrait, et on l'a remué avec la main. En moins de demi-heure, le thermomètre est monté de 16 à 46 degrés ; il s'est produit en même temps beaucoup de vapeur d'eau. Le mélange, remis encore chaud dans un autre vase dans lequel il était défendu du contact de l'air, s'est refroidi promptement : néanmoins il a continué à donner beaucoup d'hydrogène, et, sept jours après, il en produisait encore plus d'un litre en vingt-quatre heures.

Ces expériences prouvent manifestement que ce n'est pas la décomposition de l'eau qui a produit l'élévation de température du mélange, mais bien l'absorption de l'oxigène de l'air qui était très-rapide. M. Guibourt explique la décomposition de l'eau, dans la circonstance

n vient de parler, par la grande masse de fer qu'il mployée, et il fait intervenir la capacité de ce l'une manière fort peu intelligible. Le fait est que on opère sur des masses considérables, la chaleur, le résultat de la combinaison, se conserve beau-nieux que lorsqu'on opère sur de petites masses ; orise par conséquent l'action chimique, qui exige e toujours une certaine élévation de température. oins on ne peut expliquer, par cette cause, pour-: fer en petite masse ne décompose pas l'eau lors-élève la température jusqu'à 20 ou 25 degrés, : M. Guibourt l'a reconnu lui-même, et comme ivent les observations de M. Hall.

comparant les expériences précédentes, il nous a qu'on pouvait très-bien rendre raison de leur dif-: en remarquant que le fer et son oxide doivent nsidérés comme deux corps hétérogènes, d'éner-ectriques différentes, et pouvant, par leur contact, iiner la décomposition de l'eau, de la même ma-qu'un élément de cuivre et de zinc dans la pile que. Les expériences de M. Hall s'expliquent faci-t par cette considération. Tant que du fer bien net u sous de l'eau privée d'oxigène, il n'éprouve e altération : si l'eau contient de l'air, il se forme xide d'un brun rouge, qui conserve sa couleur s'il slé du fer ; mais s'il reste adhérent à sa surface, il it d'un vert brun. Nous pensons que, dans ce der-as, la décomposition de l'eau est favorisée par le ct du fer et de son oxide, et qu'il en résulte de ogène qui ramène à un degré inférieur l'oxide : formé par l'action de l'air.

Le dégagement d'hydrogène que Lavoisier avait o
tenu en mettant du fer avec de l'eau sur le mercure,
que M. Guibourt a aussi observé, est dû sans doute
contact des deux métaux hétérogènes. Dans les exp
riences de M. Guibourt où il s'est manifesté un p
d'hydrogène, la limaille de fer n'était pas nette, et il
très-probable que cette cause a suffi pour donner lieu
la décomposition de l'eau. Pourquoi, autrement,
même mélange d'eau et de fer ne donnerait-il que tr
peu d'hydrogène pendant l'espace de plusieurs jou
tandis qu'il en donne très-abondamment, dans les mêm
circonstances, lorsque le fer a été en partie oxidé pa
concours de l'air ?

D'après ces considérations, nous pensons avec M. E
que le fer bien net ne s'oxide point dans l'eau pri
d'air, et que par conséquent il ne la décompose pas.

M. Guibourt a appliqué les résultats qu'il avait obten
à la théorie de la formation de l'éthiops martial par
procédé de Cavezzali. Ce procédé consiste à humecte
par exemple, 4 kilogrammes de limaille de fer très-fi
et bien pure, et à la remuer de temps en temps avec u
spatule pour lui donner le contact de l'air : le mélan
s'échauffe presque aussitôt qu'il est fait, et il s'en exha
de l'eau sous forme de vapeur, que l'on doit rem
placer à mesure pour que l'oxidation continue.
bout de quatre à cinq jours, on lave le fer pour en s
parer l'oxide, qu'on laisse déposer et qu'on reçoit s
un filtre. Lorsqu'il est égoutté, on l'enveloppe de pap
gris, on le soumet à la presse et on le fait sécher à l'étu
Le fer, dont on a séparé l'oxide, est traité comme p
cédemment, et on en obtient une nouvelle quant

d'oxide. En opérant ainsi successivement, 14 kilogrammes de limaille peuvent donner plus de 16 kilogrammes d'oxide noir.

Dans ce procédé, le fer ne passe point au *maximum* d'oxidation, quoiqu'il ait le contact de l'air : M. Guibourt explique ce résultat en admettant que c'est l'eau seule qui fournit de l'oxigène au fer, et que l'hydrogène, dans son état naissant, est ensuite détruit par l'air à mesure qu'il se produit. Dans ce cas, il ne pourrait effectivement se former de peroxide ; mais cette opinion est loin d'être démontrée. Si, en effet, c'est l'eau seule qui fournit l'oxigène au fer, pourquoi l'oxidation ne fait-elle pas des progrès aussi rapides dans de l'eau que dans l'air, à la même température ? Il suffit, pour que l'oxide formé ne soit point au *maximum*, que l'eau puisse être décomposée par le fer pendant que l'air agit sur le métal, ou même après ; et les expériences de M. Hall ne laissent aucun doute à cet égard.

En résumant, il nous paraît démontré que le fer ne décompose point l'eau à une température ordinaire quand ils sont l'un et l'autre parfaitement purs. Mais l'oxidation une fois commencée par une cause quelconque peut continuer par l'action seule de l'eau.

Description *d'un principe acide extrait de l'acide lithique ou urique.*

Par William Prout.

(Lu à la Société royale le 11 juin 1818.)

(Extrait des *Transact. philos.*)

Pendant que je m'occupais de la recherche des principes constituans de l'urine, dans la vue d'éclairer la pathologie de cette sécrétion, je fus conduit à examiner la belle substance pourpre, bien connue des chimistes, produite par l'action simultanée de l'acide nitrique et de la chaleur sur l'acide urique, et que l'on a ordinairement prise pour un des caractères distinctifs de cet acide. Je trouvai que cette substance était formée d'ammoniaque et d'un principe particulier, jouissant des propriétés acides : la description de ce nouveau corps et de ses composés est l'objet du présent Mémoire.

Cet acide peut être obtenu de la manière suivante : on fait digérer de l'acide urique pur dans de l'acide nitrique étendu ; il se manifeste une effervescence et l'acide urique se dissout. On neutralise alors l'excès d'acide nitrique par l'ammoniaque, et l'on soumet le tout à une évaporation lente. A mesure qu'elle s'opère, la couleur de la dissolution passe graduellement à un pourpre plus foncé, et des cristaux grenus, d'un rouge obscur (quelquefois verdâtres à la surface) se précipitent bientôt en abondance. Ces cristaux sont composés d'ammoniaque unie à l'acide dont il s'agit. Pour l'obtenir

isolé, il suffit de séparer l'ammoniaque par l'acide sulfurique ou hydrochlorique. Cependant, comme je reconnus qu'il fallait encore certaines précautions pour obtenir l'acide entièrement incolore, il ne paraîtra pas superflu de décrire ici d'une manière précise la méthode que j'ai ordinairement suivie pour y parvenir. Le composé ammoniacal ci-dessus mentionné fut dissous dans la potasse caustique, et la chaleur appliquée à la solution jusqu'à ce que la couleur rouge eût entièrement disparu : alors on versa peu à peu le liquide dans de l'acide sulfurique étendu, qui s'unit à la potasse, en laissant le principe acide à l'état de pureté.

On peut encore produire cet acide en faisant agir le chlore sur l'acide urique. L'iode jouit aussi de cette propriété remarquable, mais à un degré moins marquant. Quand on fait bouillir pendant quelque temps l'iode en contact avec l'acide urique, une portion de cet acide se dissout : si on ajoute un peu d'ammoniaque à cette dissolution et qu'on l'évapore à siccité, on obtient une quantité notable d'une substance d'un beau pourpre, composée d'ammoniaque unie au nouveau principe acide. Je ne sache pas qu'aucune autre substance soit capable de produire ce changement, quoique le fait ne soit nullement invraisemblable. Pour éviter les circonlocutions, j'appellerai dorénavant ce principe *acide purpurique*, nom qui m'a été suggéré par le D[r] Wollaston, à cause de la propriété remarquable qu'il a de produire des composés d'une couleur rouge ou pourpre avec la plupart des bases.

L'acide purpurique obtenu comme il vient d'être dit est ordinairement sous la forme d'une poudre très-fine,

légèrement jaunâtre ou couleur de crême : vu à la loupe, et particulièrement dans l'eau, il semble posséder l'éclat nacré. Il est insipide et inodore; sa pesanteur spécifique est beaucoup plus grande que celle de l'eau, quoique cependant, à cause de l'extrême ténuité de ses particules, il exige un temps considérable pour se précipiter au fond de ce fluide. Quand on le laisse se séparer lentement de l'eau en grande quantité, ou de tout autre liquide capable de le tenir en dissolution, il affecte quelquefois la forme d'écailles minces nacrées.

L'acide purpurique est très-peu soluble dans l'eau. Un dixième de grain que l'on fit bouillir pendant fort long-temps dans 1000 grains d'eau ne fut pas entièrement dissous. L'eau prit une teinte purpurine qu'elle conserva encore après son refroidissement, quoique cependant elle fût légèrement trouble (1). L'acide purpurique est insoluble dans l'alcool et dans l'éther. Il se dissout aisément dans tous les acides minéraux quand ils sont concentrés et en excès, ainsi que dans les dissolutions alcalines; mais il est insoluble, ou à très-peu près, dans les acides sulfurique, hydrochlorique et phosphorique

---

(1) Je ne suis pas entièrement certain si la couleur purpurine dont il est ici question est due à la dissolution dans l'eau d'une très-petite portion d'acide purpurique, et conséquemment s'il forme par lui-même une dissolution pourpre, ou si elle est due à ce qu'un peu d'ammoniaque, résultant de la décomposition d'une très-petite quantité d'acide, s'unit avec la portion d'acide restante pour donner lieu à un purpurate d'ammoniaque. J'incline vers cette dernière opinion.

étendus, et aussi dans les acides oxalique, citrique et tartarique liquides. L'acide nitrique concentré le dissout rapidement avec effervescence : quand on met un excès de cet acide et qu'on chauffe, une partie de l'acide purpurique est décomposée, il se forme de l'ammoniaque, et en chassant par la chaleur l'excès d'acide nitrique, on obtient du purpurate d'ammoniaque, comme si l'on eût opéré de la même manière sur de l'acide urique. Le chlore dissout aussi l'acide purpurique et produit vraisemblablement sur lui les mêmes changemens apparens que l'acide nitrique. Il est encore dissous rapidement, à l'aide de la chaleur, par l'acide acétique concentré.

L'acide purpurique n'affecte pas sensiblement le papier de tournesol, sans doute à cause de son insolubilité. Exposé à l'air, il n'est pas déliquescent ; mais il prend graduellement une teinte rougeâtre provenant, ou de ce qu'il attire une petite quantité d'ammoniaque de l'atmosphère, ou peut-être de ce qu'il développe lui-même un peu de cet alcali par une décomposition spontanée.

Soumis à l'action de la chaleur, il ne fond ni ne se sublime; mais il acquiert, par la formation d'ammoniaque, une couleur pourpre, et après il brûle par degrés sans répandre aucune odeur remarquable. A vaisseaux clos, il donne à la distillation une proportion considérable de carbonate d'ammoniaque, de l'acide hydrocyanique, une petite quantité d'un liquide d'apparence huileuse, et il reste dans la cornue un charbon pulvérulent. J'obtins de quantités données de cet acide, brûlées avec l'oxide de cuivre d'après la manière

que j'ai précédemment décrite (1), des résultats qui semblent indiquer que 100 parties consistent en :

Hydrogène,	4,54,	correspondant à 2 atomes.
Carbone,	27,27	 2
Oxigène,	36,36	 2
Azote,	31,81	 1

L'acide purpurique se combine avec les alcalis, les terres et les oxides métalliques. Il dégage, à l'aide de la chaleur, l'acide carbonique des carbonates alcalins, et n'est point capable, autant que j'ai pu le remarquer, de se combiner avec aucun autre acide. Ces circonstances suffisent, comme l'a observé Wollaston, pour le distinguer des *oxides* et le faire regarder comme un *acide*. En supposant alors qu'on lui donnât le nom *d'acide purpurique*, les composés avec les différentes bases seraient appelés *purpurates*. Je vais maintenant faire connaître quelques-uns des plus remarquables de ces sels.

Purpurate d'ammoniaque. Ce sel cristallise en prismes quadrangulaires qui, vus par la lumière transmise, sont transparens et d'une couleur d'un rouge intense de grenat; mais, par la lumière réfléchie, les deux plus larges faces opposées paraissent d'un vert brillant, approchant beaucoup de la couleur des ailes de certaines espèces d'escarbots (*beetle*), par exemple, de celle appelée *cetonia aurata*, tandis que les deux autres faces opposées paraissent d'un brun rougeâtre sombre, ou légèrement vertes si la lumière est très-forte. Cette propriété semble appartenir, dans un

(1) Voyez *Ann. de Chim. et de Phys.* X. 369.

degré plus ou moins considérable, à tous les autres sels alcalins, et peut-être même aux sels terreux; et sans doute elle dépend de la structure des cristaux. Le purpurate d'ammoniaque est soluble dans environ 1500 parties d'eau à 15°; mais l'eau bouillante en dissout bien davantage. La dissolution est d'une belle couleur carmin ou légèrement rose. Il est peu ou même pas du tout soluble dans l'alcool et l'éther. La dissolution aqueuse de ce sel a une saveur légèrement douceâtre, mais point d'odeur. En y versant les dissolutions des sels neutres des autres bases, on parvient à former la plupart des purpurates suivans.

Purpurate de potasse. Quand on ajoute à une dissolution de bicarbonate de potasse une dissolution saturée, bouillante de purpurate d'ammoniaque, il se précipite une poudre d'un rouge brunâtre obscur : c'est le purpurate de potasse. Lorsqu'il se forme lentement, on peut l'obtenir cristallisé : ses cristaux paraissent jouir de la même propriété particulière, eu égard à la couleur, que ceux de purpurate d'ammoniaque dont on vient de parler. Ce sel est beaucoup plus soluble que le purpurate d'ammoniaque.

Purpurate de soude. Ce sel, quand on se l'est procuré par la même méthode que le purpurate de potasse, est d'une couleur rouge de brique foncé. On peut cependant l'obtenir cristallisé. Il est beaucoup moins soluble que le purpurate de potasse. Il faut plus de trois mille fois son poids d'eau à 15° pour le dissoudre complètement. Les couleurs des dissolutions de ce sel diffèrent légèrement de celles du purpurate de potasse et du purpurate d'ammoniaque; mais il n'est pas aisé

de décrire ces différences assez bien pour les rendre intelligibles.

Purpurate de chaux. Le purpurate de chaux, préparé par l'addition d'une dissolution saturée et bouillante de purpurate d'ammoniaque à celle de muriate de chaux liquide, se présente sous la forme d'une poudre approchant de la couleur de la croûte de l'écrevisse de mer (*lobster*) avant sa cuisson. Il n'est que peu soluble dans l'eau froide; mais il l'est davantage dans l'eau bouillante, et sa dissolution est d'un beau rouge pourpre.

Purpurate de strontiane. Ce sel, que l'on obtient, comme ci-dessus, au moyen du nitrate de strontiane, est une poudre d'un brun rouge foncé, avec une légère teinte de vert : il paraît plus soluble que le purpurate de chaux, et sa dissolution est pourpre.

Purpurate de baryte. On le prépare avec l'acétate de baryte par le procédé ci-dessus; il a l'apparence d'une poudre d'un vert foncé. Il ne diffère pas beaucoup en solubilité du purpurate de strontiane, et forme une dissolution de même couleur que ce sel.

Purpurate de magnésie. Il est très-soluble; sa dissolution est d'un beau pourpre.

Purpurate d'alumine. Quand on verse une solution de purpurate d'ammoniaque dans une dissolution d'alun, il ne se manifeste d'abord aucun changement apparent; mais, au bout de quelque temps, la couleur de la dissolution disparaît, et il se sépare une petite quantité d'une substance blanche que je suppose être du purpurate d'alumine, mais que je n'ai point examinée.

Purpurate d'or. La dissolution de muriate d'or versée dans le purpurate d'ammoniaque fait passer la

couleur au jaunâtre, mais n'occasionne aucun précipité; d'où l'on doit présumer que le purpurate d'or est très-soluble.

Purpurate de platine. Le muriate de platine change aussi la couleur du purpurate d'ammoniaque en un écarlate jaunâtre, mais sans produire de précipité.

Purpurate d'argent. Les dissolutions d'acétate ou de nitrate d'argent versées dans le purpurate d'ammoniaque donnent lieu à un précipité pourpre foncé, et l'eau est presqu'entièrement décolorée; d'où il paraît que le purpurate d'argent est très-insoluble.

Purpurate de mercure. Le proto-nitrate de mercure liquide produit avec le purpurate d'ammoniaque un beau précipité pourpre-rougeâtre, et l'eau perd presque en totalité sa couleur. Le perchlorure de mercure n'occasionne d'abord aucun changement; mais, au bout de quelque temps, il se manifeste un précipité abondant d'un rose léger, et la solution reste incolore.

Purpurate de plomb. Le purpurate d'ammoniaque mêlé avec le nitrate de plomb prend une couleur rose-rougeâtre, mais sans donner lieu à un précipité.

Purpurate de zinc. Une dissolution d'acétate de zinc donne avec le purpurate d'ammoniaque une dissolution et un précipité d'une belle couleur jaune d'or; et il se forme, à la surface de la liqueur, des pellicules irisées très-brillantes, dans lesquelles le vert et le jaune prédominent.

Purpurate d'étain. Une dissolution de chlorure d'étain fait passer le purpurate d'ammoniaque à l'écarlate; mais cette couleur disparaît promptement; le liquide devient incolore, et, au bout de quelques heures,

il se forme en abondance des cristaux d'un blanc de perle qui sont le purpurate d'étain.

Purpurate de cuivre. L'acétate ou le sulfate de cuivre changent la couleur du purpurate d'ammoniaque en un vert jaunâtre clair, sans produire aucun précipité.

Purpurate de nickel. Le nitrate de nickel donne au purpurate d'ammoniaque une teinte verdâtre; mais n'occasionne pas de précipitation.

Purpurate de cobalt. L'acétate de cobalt fait passer la dissolution à l'écarlate pâle, et, au bout de quelque temps, il se forme des cristaux rougeâtres grenus qui sont le purpurate de cobalt.

Purpurate de fer. La dissolution de sulfate vert de fer change en rouge jaunâtre la couleur du purpurate d'ammoniaque, mais ne donne point lieu à un précipité.

Telle est l'histoire très-succincte des *purpurates*, autant que j'ai pu les étudier. Au premier coup-d'œil, il pourra paraître singulier qu'un acide aussi insoluble forme tant de composés solubles; mais en réfléchissant sur ce sujet, et remarquant que la très-petite quantité de purpurate d'ammoniaque retenue en dissolution dans l'eau est ce qui nous a servi de terme de comparaison dans les expériences ci-dessus, la surprise devra considérablement diminuer, et il sera facile de concevoir que si l'on comparait les purpurates aux nitrates, par exemple, on trouverait les premiers bien moins solubles.

Les très-petites quantités sur lesquelles j'ai été obligé d'opérer, et plusieurs autres circonstances, ne me permettent de dire que très-peu de chose sur la constitution des purpurates. Ceux que j'ai tenté d'analyser m'ont

para anhydres et composés de deux atomes d'acide et d'un atome de base ; et si cela est exact, on peut appliquer cette même composition à la plupart, sinon à tous ceux des composés ci-dessus mentionnés. Cependant l'acide purpurique paraît capable de former, avec la plupart des bases, des sous-sels et des sur-sels, dont plusieurs semblent très-peu solubles.

Quant au caractère propre de l'acide purpurique, je crois qu'indépendamment de ses autres propriétés, qui sont aussi particulières, il peut être facilement distingué de toute autre substance par les belles couleurs de ses combinaisons salines.

Il est probable que l'acide purpurique et ses composés forment la base de plusieurs couleurs végétales et animales. Le sédiment œillet bien connu que dépose l'urine dans les affections fébriles, paraît devoir principalement sa couleur au purpurate d'ammoniaque, et peut-être accidentellement au purpurate de soude. On pourrait faire usage, dans la peinture, de quelques purpurates, par exemple, de celui de chaux. On pourrait aussi s'en servir pour teindre, particulièrement la laine et les autres productions animales (1). Cependant je

(1) Je ferai observer ici que la dissolution de l'acide urique dans l'acide nitrique a la propriété de teindre la peau et les autres substances animales d'une couleur très-permanente ; mais qui, en général, ne paraît qu'après que la substance a été exposée à la chaleur, ou mieux encore aux rayons solaires. Dans ce dernier cas surtout, il se développe bientôt une couleur pourpre foncée, et la substance teinte (mais plus spécialement la peau) émet durant le procédé une odeur

pense qu'il n'est pas convenable de traiter maintenant ce sujet, sur lequel je ne puis offrir que très-peu de faits certains.

EXPÉRIENCES

Pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques qui servent de base aux calculs relatifs à la théorie des proportions chimiques.

PAR J. BERZELIUS (1).

DANS un Mémoire publié, il y a déjà plusieurs années (2), j'ai communiqué quelques expériences, par lesquelles j'avais tâché d'obtenir des résultats assez exacts pour servir de données normales d'après lesquelles la composition de plusieurs corps composés pût se calculer avec plus de certitude qu'elle ne pourrait être trouvée par l'analyse même. Comme, dans ces expériences, je m'étais efforcé de choisir des méthodes telles que l'exactitude du résultat dépendît aussi peu que possible de la dextérité de l'opérateur, j'eus quelque espérance de parvenir à mon but. Je trouvai cependant tant de difficultés

---

forte et particulière, assez analogue à celle que produit le nitrate d'argent appliqué sur la peau dans de pareilles circonstances.

(1) Traduit de *Afhandlingar i Fysik, etc.* t. V, p. 379. *Stockholm*, 1818.

(2) *Annales de Chimie*, t. LXXVII à LXXXIII.

inséparables de cette entreprise, qu'aucun des résultats obtenus ne pouvait être considéré comme normal.

Après six ans d'un travail continu dans cette matière, et après avoir acquis beaucoup plus d'expérience et trouvé plusieurs améliorations dans les méthodes analytiques, je me décidai à reprendre ces recherches, qui, dans mon opinion, sont d'une très-haute importance. Mon but a maintenant été, non d'obtenir des résultats d'une justesse absolue, ce qui, je crois, ne peut arriver qu'accidentellement; mais du moins de déterminer jusqu'à quel point l'exactitude, dans l'analyse chimique, peut aller, et enfin, de donner aux analyses des corps les plus importans un degré égal de précision. Si, par ces efforts, les erreurs inévitables dans les résultats deviennent proportionnelles, il s'ensuit que la moyenne des meilleures analyses, lors même qu'elles ne seraient point exactes au dernier degré, nous sera de la même utilité que si elle était parfaitement juste, puisque l'erreur est en dedans des limites des erreurs d'observation, et puisqu'elle est autant que possible proportionnelle pour toutes les combinaisons.

En cherchant à déterminer jusqu'à quel degré la précision est possible, j'ai trouvé constamment que, par des méthodes très-simples, on peut obtenir jusqu'à la millième partie du poids employé; de manière que les variations dans les résultats des expériences faites par le même procédé n'ont lieu que sur des dix millièmes; mais même ce degré d'exactitude demande beaucoup de soin et d'attention dans toutes les circonstances qui peuvent contribuer à rendre les résultats inexacts, et qui le plus souvent varient avec la manière d'opérer. Je

ne suis jamais parvenu qu'accidentellement à faire coïncider les analyses qu'aux dix millièmes, et il m'est fort souvent arrivé, malgré tous mes soins, qu'elles n'étaient parfaitement d'accord qu'aux centièmes.

Une partie des expériences dont je vais rendre compte a été faite dans la vue que je viens de citer; d'autres sont d'une date plus ancienne, et ont été déjà décrites dans le 3me volume des *Annals of Philosophy* du Dr Thomson; mais parmi ces dernières, plusieurs ont été répétées, et quelques méprises dans mes anciens Mémoires ont été corrigées. Je ferai d'abord la description des expériences où j'ai tâché d'atteindre à la plus grande exactitude possible, et je communiquerai ensuite celles que je ne puis assurer être toutes exactes au même degré.

Expériences pour déterminer la composition exacte des corps qui, dans un grand nombre d'analyses, servent de bases aux calculs des proportions chimiques.

Muriate de potasse et muriate d'argent.

De toutes les méthodes pour déterminer la quantité exacte d'oxigène dans la potasse et dans l'oxide d'argent, aucune ne m'a paru plus propre à donner un résultat exact que de chercher d'abord la quantité d'oxigène dans l'oxi-muriate de potasse, et d'analyser après le muriate ordinaire. Par des expériences déjà connues, l'on sait que l'oxi-muriate de potasse exposé au feu perd six fois la quantité d'oxigène contenue dans la potasse du muriate restant. Si l'on détermine avec exactitude la quantité d'oxigène dégagée de l'oxi-muriate, en calculant ensuite,

d'après ce que nous venons de dire, la quantité d'oxigène qui doit se trouver dans la potasse, l'erreur du résultat calculé ne sera que $\frac{1}{6}$ de l'erreur d'observation dans l'analyse de l'oxi-muriate.

Il y a déjà long-temps que j'ai communiqué une analyse de l'oxi-muriate de potasse (1) par laquelle j'avais trouvé que 100 parties de ce sel donnent 38.845 parties d'oxigène; mais, pour obtenir encore plus d'exactitude, j'ai cru devoir répéter mes expériences. Dans mes nouvelles recherches, il s'est présenté alors une difficulté dont je ne m'étais point aperçu dans les anciennes, et qui m'a mis dans la nécessité de faire d'abord un grand nombre d'expériences pour trouver une méthode d'opérer qui donnât toujours des résultats concordans. Cette difficulté consiste dans ce qu'au moment où l'oxi-muriate commence à se décomposer, l'oxigène entraîne de l'oxi-muriate sous forme de fumée blanche, qu'il dépose dans les tubes. Cette fumée se dépose si lentement, que lorsque je fis passer le gaz oxigène par un tube de verre de 24 pouces de longueur, courbé en plusieurs sens, et tiré par le bout de manière à former un tube presque capillaire, la dernière moitié du tube ne fut point couverte de poussière; mais un morceau de verre contre lequel je laissai courir le jet du gaz oxigène sortant en fut entièrement couvert à l'endroit où le gaz le frappait. Comme la formation de cette poussière saline paraissait n'être due qu'à un effet entièrement mécanique du bouillonnement, car elle augmentait avec ce dernier, j'essayai d'éviter l'ébullition en mêlant l'oxi-muriate avec

---

(1) *Annales de Chimie.*

six à dix fois son poids de muriate de potasse fondu. Par ce moyen, je parvins à mon but, et je procédai alors de la manière suivante : de l'oxi-muriate de potasse, dont la solution n'était point du tout troublée par le nitrate d'argent, fut réduit en une poudre fine et séché à une température au-delà de $+100^{\circ}$, sans cependant être assez haute pour ramollir ce sel. On le mit ensuite tout chaud dans une cornue qui contenait du muriate de potasse en poudre : on l'avait chauffée pour dégager toute humidité, et son poids était connu. Lorsque tout eut repris la température de l'atmosphère, on pesa de nouveau la cornue, et on secoua pour mêler les deux sels. Au moyen d'un tube de gomme élastique, on appliqua à l'ouverture de la cornue un tuyau de verre long de seize pouces et d'une ligne de diamètre, dans lequel on avait placé quelques morceaux de muriate de chaux anhydre. Le tube était courbé en spirale, et l'ouverture environnée de papier à filtrer pour retenir toute fumée de sel en poussière. On eut soin de peser le tube, tant seul que conjointement avec la cornue. La quantité d'oxi-muriate décomposé varia entre 15 et 10 grammes. On chauffa la cornue dans un bain de sable jusqu'à ce qu'elle fût rouge dans l'intérieur, et que le muriate commençât à se ramollir. L'expérience finie, on remplaça le gaz oxigène de la cornue par de l'air atmosphérique : alors on pesa la cornue avec le tube courbé, et ensuite le tube seul.

Dans toutes ces expériences, on trouva dans le col de la cornue une trace de sublimé qui était de l'oxi-muriate non décomposé. Il pesait dans toutes 0.003 gr. Le tube avec les morceaux de muriate de chaux et le papier

avaient augmenté en poids de 0.02 à 0.023 gr. En soustrayant cette quantité du poids que la cornue avait perdue, on eut le poids du gaz oxigène dégagé, et en même temps celui du muriate de potasse resté dans la cornue. Quatre expériences ont été faites de cette manière, et en tenant compte de la petite quantité de sublimé, elles ont donné, pour 100 parties d'oxi-muriate :

Dans la 1re, 39,146 p. de gaz oxigène ;
2me, 39,150 ;
3me, 39,150 ;
4me, 39,149.

Les expériences ne varient donc qu'aux dix millièmes, et deux d'entre elles s'accordent même dans ceux-ci, de manière que je crois que l'on peut considérer comme très-près de la vérité que 100 p. d'oxi-muriate de potasse pur et sec donnent 39,15 p. de gaz oxigène.

Pour pouvoir se servir de ce résultat, il fallait connaître la composition exacte du muriate de potasse. Je pris donc du muriate obtenu par ces expériences, et dans lequel les meilleurs réactifs ne pouvaient point découvrir la plus petite trace d'alcali en excès, et je le décomposai par une solution de nitrate d'argent cristallisé. 10 grammes de muriate de potasse donnèrent, dans deux expériences, 19.24 gr. de muriate d'argent fondu ; mais il fallait encore savoir avec une égale exactitude combien de muriate d'argent on obtient d'un poids d'argent donné. Plusieurs chimistes se sont occupés de cette matière ; mais leurs expériences n'ont point toujours donné des résultats concordans. Ceux qui se sont le plus rapprochés du vrai point sont, dans mon opinion, les suivans :

Wenzel trouva que 100 p. d'argent donnent 131,4 p. de muriate d'argent, Davy 132,5, Bucholz, Rose, Marcet et Gay-Lussac 133,3; et enfin, dans mes anciennes expériences déjà décrites, j'avais trouvé de 132,7 à 132,75. Pour le degré d'exactitude requis dans des expériences qui doivent servir de base aux calculs, la différence entre 132,5 et 133,3 est trop considérable. Même, la différence de 132,7 à 132,75 est d'une influence très-sensible sur les résultats qui en sont déduits. Il était donc nécessaire d'examiner si les résultats de mes anciennes expériences étaient exacts, et, dans ce cas, lequel des deux s'approchait le plus de la vérité.

1°. Je fis dissoudre de l'argent purifié avec tous les soins nécessaires par de l'acide nitrique pur dans une fiole inclinée, et le liquide fut évaporé à sec dans la fiole pour en séparer tout excès d'acide. On dissolvit ensuite le nitrate d'argent dans l'eau, et on versa le liquide clair dans une dissolution de muriate d'ammoniaque. Le précipité fut pris sur un filtre, bien lavé, séché et ensuite fondu sur un verre à montre d'un poids connu. On fit ensuite passer un courant de gaz hydrogène sulfuré dans le liquide filtré et mêlé avec les eaux de lavage; mais on ne put y découvrir aucune trace d'argent. 20 grammes d'argent ont donné de cette manière 26,54 gr. de muriate d'argent, c'est-à-dire, sur 100 p. du métal, 132.7 p. de muriate. Cette expérience ne peut renfermer d'autre erreur qu'une perte, puisqu'une augmentation en poids y est impossible.

2°. Pour comparer ce résultat avec celui d'une expérience où on ne peut rien perdre, et où, par conséquent, l'erreur ne peut être qu'une augmentation en poids, et

pour parvenir, par ce moyen, à connaître les limites de l'erreur d'observation, je fis dissoudre de l'argent pur dans une fiole inclinée; je fis évaporer la dissolution à sec, je repris le nitrate d'argent par l'eau, et j'y ajoutai dans la même fiole de l'acide muriatique pur (1), tant qu'il se forma un précipité : je le fis de suite évaporer à sec, et comme, vers la fin, les deux acides se détruisent, qu'un peu de nitrate d'argent aurait pu se reformer, je versai de l'eau sur la masse sèche, j'y ajoutai ensuite de l'acide muriatique, et je fis évaporer à sec encore une fois. La fiole avec la masse sèche fut chauffée sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, jusqu'à ce que le muriate d'argent fût entièrement fondu. 20 grammes d'argent ont donné de cette manière, dans deux expériences, 26,556 et 26,558 gr. de muriate d'argent fondu, équivalant à 132,78 et 132,79 p. de muriate sur 100 p. de métal.

Malgré que les acides employés dans ces expériences fussent aussi purs qu'il est possible de les obtenir par les meilleures préparations connues, ils ont cependant toujours laissé des traces visibles lorsqu'on les a fait évaporer sur un verre de montre. Or, comme, dans ces expériences, on avait été obligé d'en ajouter des quantités assez considérables, il est clair que le peu de matière étrangère qui adhérait aux acides a pu peser sur la balance et rendre le résultat un peu plus haut qu'il n'aurait dû être. Comme le vrai point doit être entre 132,7

(1) Cet acide a été préparé en faisant saturer l'eau de gaz acide muriatique, qui avait passé par un vaisseau intermédiaire pour déposer toute impureté.

et 132,79, je crois pouvoir adopter 132,75 comme assez près de la vérité, en observant toujours que l'oscillation dans les résultats n'a lieu que sur les dix millièmes, qui sont la limite ordinaire au-delà de laquelle je n'ai point pu porter l'exactitude des expériences analytiques.

En admettant que 100 p. d'oxi-muriate de potasse donnent 39,15 p. d'oxigène; que 100 p. de muriate de potasse donnent 192,4 p. de muriate d'argent, et qu'enfin 100 p. d'argent donnent 132,75 p. de muriate d'argent, on peut conclure de ces trois données, par un calcul trop simple pour que j'aie besoin d'en faire une exposition particulière ici, la composition des corps suivans.

Le *muriate de potasse* est composé de :

Acide muriatique,	36.743	100.000;
Potasse,	63.257	174.882.

La *potasse* est composée de :

Potassium,	83.0484	100.000;
Oxigène,	16.9516	20.412.

L'*oxide d'argent* est composé de :

Argent,	93.112	100.000;
Oxigène,	6.888	7.3986.

Le *muriate d'argent* est composé de :

Acide muriatique,	19.0966	100.000;
Oxide d'argent,	80.9034	423.653.

La capacité de saturation de l'acide muriatique, c'est-à-dire, la quantité d'oxigène qui doit se trouver dans la quantité d'une base quelconque qui neutralise 100 p. de l'acide, est donc 29.184, au lieu de 29.454,

comme je l'avais trouvé par mes anciennes expériences. Il est également évident que ces données suffisent pour calculer la composition de l'acide muriatique, de l'acide oxi-muriatique et de l'oxi-muriate de potasse; mais je passe sous silence ces calculs, puisqu'ils sont étrangers au but que nous nous sommes proposé.

Oxide de plomb.

La composition de l'oxide de plomb est une des plus importantes à connaître bien exactement, surtout par sa grande influence dans les analyses des combinaisons organiques. Quoique, dans mes anciennes et nombreuses expériences sur cet oxide, j'eusse obtenu des résultats concordans, j'ai cru néanmoins devoir les reprendre pour tâcher d'y porter, s'il était possible, encore plus d'exactitude.

1. *Composition de l'oxide de plomb trouvée par une analyse directe.* Parmi les méthodes analytiques qui dépendent le moins de la dextérité de l'opérateur, j'ai cru que la suivante occupe le premier rang. Dans une boule de verre soufflée à la lampe de l'émailleur au milieu d'un morceau d'un tube de baromètre, on introduit de l'oxide de plomb pur qui vient d'être rougi au feu. On fait chauffer la boule par la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, et on la fait traverser par un courant de gaz hydrogène obtenu avec le zinc distillé et l'acide sulfurique ou muriatique. L'oxide devient d'abord noir; on voit se former de petits globules de plomb réduit, et, au bout de deux heures, il est converti en plomb métallique coulant. On ôte le feu, et on laisse refroidir le plomb pendant que le gaz hydrogène continue encore à

passer. Si l'on pèse d'abord le tube de verre seul, ensuite avec l'oxide de plomb, et enfin avec le métal réduit, la seule erreur possible viendra de ce que l'opérateur n'aura pas pesé avec assez d'exactitude, pourvu qu'il se soit servi d'un gaz hydrogène qui ne contient point de soufre.

J'ai fait de cette manière trois expériences :

1°. 21.9425 gr. d'oxide de plomb ont laissé 20,3695 gr. de plomb métallique, c'est-à-dire, que 100 p. de métal avaient été combinées avec 7.7223 p. d'oxigène ;

2°. 10.8645 gr. d'oxide de plomb ont donné 10.084 gr. de plomb, c'est-à-dire, 7.74 p. d'oxigène sur 100 p. de plomb ;

3°. 11.159 gr. d'oxide de plomb ont donné 10.359 gr. de plomb, c'est-à-dire, 100 p. de métal ont perdu 7.7228 p. d'oxigène.

2°. *Composition de l'oxide de plomb déterminée par un calcul qui a pour base l'analyse du nitrate de plomb.* D'après une expérience analytique sur le nitrate de plomb (1), 100 p. de nitrate sec donnent 67.31 p. d'oxide de plomb : or, l'on sait que l'acide nitrique est composé d'un volume de gaz azote sur $2\frac{1}{2}$ de gaz oxigène, et qu'en négligeant l'oxigène qui, d'après toute probabilité, se trouve dans l'azote, cet acide contient cinq fois autant d'oxigène que la base dont il est neutralisé. En déterminant la composition de l'acide en poids d'après la pesanteur spécifique des gaz ; en calculant ensuite, d'après les données précitées, la composition de

(1) *Annales de Chimie.*

l'oxide de plomb, on trouve que 100 p. de plomb doivent se combiner avec 7,7448 p. d'oxigène.

3°. *La même, calculée d'après le muriate de plomb.* Du muriate de plomb fondu a été pulvérisé, pesé et dissous dans l'eau bouillante. Il a laissé une petite portion de sous-muriate non dissoute, qui a été séparée, séchée au feu, pesée et défalquée du poids du muriate employé. Cette précaution est indispensable; je n'ai jamais pu faire dissoudre du muriate de plomb fondu sans qu'il ait laissé un résidu de sous-muriate insoluble. Je l'ai même fait fondre dans une cornue remplie de gaz acide muriatique sans pouvoir prévenir une décomposition partielle. 100 p. de muriate de plomb précipitées par du nitrate d'argent ont produit 103.35 p. de muriate d'argent. Le muriate de plomb est donc composé de :

Acide muriatique,	19.74	100.000;
Oxide de plomb,	80.26	406.585.

Il s'ensuit que 100 p. de plomb doivent se combiner avec 7.7316 p. d'oxigène.

4°. *La même, calculée d'après le carbonate de plomb.* J'ai préparé le carbonate employé dans ces expériences en précipitant une dissolution de nitrate de plomb par du carbonate de soude obtenu par la calcination du tartrate de soude ou par du carbonate d'ammoniaque, tous les deux ajoutés en excès, et en lavant les précipités avec de l'eau pure. Le carbonate de plomb a été fortement séché à quelques degrés au-dessus de + 100°; il a été décomposé dans une cornue de verre exactement pesée, et on a fait passer le gaz par un tube rempli de muriate de chaux et également pesé. Le gaz acide car-

bonique dégagé avait, dans les deux expériences, une odeur qui était plus forte, et ressemblait à celle de l'*oleum cornu cervi*, lorsque le carbonate de plomb avait été précipité par le carbonate d'ammoniaque. Cette circonstance m'engagea à sublimer encore une fois une portion de muriate d'ammoniaque pur, pour préparer du carbobonate d'ammoniaque en le distillant avec du carbonate de potasse. Mais cette précaution a été inutile; j'ai eu la même odeur et le même résultat en poids, et l'on voit, par ce qui suit, que la partie odorante n'a pas eu un poids déterminable. L'analyse a donné :

	Précipité par du carbonate de soude.	Précipité par du carbonate d'ammoniaque.
Gaz acide carbonique,	16.442	16.447;
Oxide de plomb,	83.333	83.333;
Humidité arrêtée par le muriate de chaux,	0,225	0.220.

Les résultats de ces expériences ne varient que par le 6me chiffre, et peuvent par conséquent être considérés comme très-près de la vérité. Il s'ensuit que 100 p. d'acide carbonique sont neutralisées par 506.823 p. d'oxide de plomb. D'après la pesanteur spécifique du gaz oxigène et du gaz acide carbonique déterminée par MM. Arago et Biot, l'acide carbonique contient 72.623 p. c. d'oxigène : nous savons que la base qui sature 100 p. de cet acide contient la moitié de cette quantité d'oxigène : il s'ensuit que 100 p. de plomb se combinent avec 7.7218 p. d'oxigène. Voici la comparaison des quantités d'oxigène que nous venons de trouver combinées avec les 100 p. de plomb :

7.7218 carbonate de plomb;
7.7223 réduction par l'hydrogène;
7.7228 *idem.*
7.7316 muriate de plomb;
7.7400 réduction par l'hydrogène;
7.7448 nitrate de plomb.

)n voit donc que 100 p. de plomb se combinent avec
de 7.72 p. d'oxigène, mais avec moins de 7.75.
is de ces nombres ne diffèrent que par le 6me chiffre,
eux par le 7me. Toutes les circonstances pesées, j'ai
pouvoir admettre comme le médium des détermi-
ons qui méritent le plus de confiance, 7.725 pour
raie quantité d'oxigène qui peut se combiner avec
p. de plomb. Dans ce cas, l'oxide de plomb est
iposé de:

Plomb,	92.829	100.000;
Oxigène,	7.171	7.725.

d) *Acide sulfurique.*

l est connu que, dans les sulfates neutres, l'acide sul-
que contient trois fois autant d'oxigène que la base
t il est neutralisé. Nous venons d'examiner la com-
ition de l'oxide de plomb; il est donc aisé de déter-
ier celle de l'acide sulfurique en observant combien
sulfate de plomb produit un poids donné de plomb.
donc fait dissoudre du plomb par de l'acide nitrique
, dans une fiole de Florence inclinée de manière que
fervescence n'a rien pu jeter hors du vaisseau. Le li-
de a ensuite été versé dans un creuset de platine d'un

poids connu ; on y a mêlé de l'acide sulfurique pur étendu d'eau ; on a évaporé le mélange à sec, et on a chassé le petit excès d'acide sulfurique moyennant un feu rouge. Cette expérience paraît fort simple ; mais elle est fort difficile à conduire à bout, vu le poids du précipité qui fait sauter des parties de la masse si la température s'élève un peu au-dessus de + 100°. J'ai fait quatre expériences et j'ai employé 10 gr. de plomb pur à chaque fois. Elles ont donné les résultats suivans :

1°. 14.6380 de sulfate de plomb ;
2°. 14.6400 ;
3°. 14.6440 ;
4°. 14.6458.

Parmi ces expériences, la première diffère par le quatrième chiffre ; mais les autres ne varient que sur le 5me. J'ai cru pouvoir choisir le résultat de la 3me expérience, c'est-à-dire, 14.644, comme le plus près de la vérité. Dans cette quantité de sulfate, il y a 10.7725 d'oxide de plomb et 3,8715 d'acide sulfurique, dont l'oxigène doit être $0.7725 \times 3 = 2.3175$, et le soufre 1.5540. L'acide sulfurique est par conséquent composé de :

Soufre,	40.1395	100.00 ;
Oxigène,	59.8605	148.49.

Il s'ensuit encore que la capacité de saturation de l'acide sulfurique doit être $\frac{59.8605}{3} = 19.9535$.

Il est connu, par d'anciennes expériences, que le soufre, pour produire l'acide sulfureux, se combine avec les $\frac{2}{3}$ de l'oxigène qu'il y a dans l'acide sulfurique ; d'où il est facile de calculer la composition de l'acide

sulfureux. Je croyais cependant qu'une vérification de ce calcul fournie par la détermination de la pesanteur spécifique du gaz acide sulfureux ne serait point superflue; et quoique les expériences que j'ai faites à cette fin n'aient point donné le résultat auquel je m'attendais, je vais en faire ici l'exposition.

En supposant que le gaz oxigène, lorsqu'il se combine avec le soufre pour produire l'acide sulfureux, conserve son volume, tout comme lorsqu'il forme du gaz acide carbonique avec le charbon, il est évident que la différence entre le poids spécifique du gaz acide sulfureux et celui du gaz oxigène doit indiquer la quantité de soufre contenue dans le premier. J'ai préparé du gaz acide sulfureux de la manière suivante : j'ai mis du cuivre dans une cornue, que j'ai ensuite entièrement remplie d'acide sulfurique concentré. L'ouverture a été introduite dans de l'acide sulfurique, et j'ai chauffé la cornue jusqu'à ce que le gaz développé n'en fît plus sortir d'acide sulfurique. J'ai alors introduit le bec de la cornue sous une cloche remplie de mercure, et j'ai fait continuer le dégagement du gaz acide sulfureux. La cloche avait au sommet un robinet de cuivre jaune qu'on ne pouvait point remplir de mercure, et dans lequel il resta par conséquent un peu d'air atmosphérique. On l'éloigna en laissant la cloche se remplir jusqu'au sixième de gaz acide sulfureux, et en retirant ensuite ce gaz mélangé d'air. On a répété cette opération cinq ou six fois avant de laisser la cloche se remplir. J'y fis ensuite entrer du gaz acide sulfureux, jusqu'à ce que le gaz au-dedans fût comprimé par un pouce de hauteur de mercure au dehors de la cloche. J'y adaptai alors, moyennant un

robinet à vis, un matras de verre mince que j'avais préalablement vidé d'air. En ouvrant le robinet, le matras se remplit de gaz acide sulfureux, et l'on prit soin de plonger la cloche dans le mercure jusqu'à ce que le gaz dans le matras fût un peu comprimé. Le matras fut ensuite transporté dans la pièce où il devait être pesé. On l'y laissa une heure, pour prendre la température de cet endroit, qui était + 15°. On ouvrit ensuite le robinet, en prenant garde de ne pas toucher le matras avec les mains, pour ne pas altérer sa température. Le gaz acide sulfureux s'étant mis en équilibre avec l'atmosphère, on ferma le robinet et on pesa le matras. Le baromètre varia, pendant la durée de ces expériences, entre 24.6 et 24.7.

J'ai continué ces expériences pendant trois jours en faisant chaque jour trois pesées. Le poids du gaz acide sulfureux varia de 1g,308 à 1g,311, sans que cela pût être attribué aux changemens de la pression atmosphérique. La quantité d'air que la machine pneumatique retira du matras pesait de 0g,576 à 0g,578; mais lorsqu'on fit rentrer l'air par un tube rempli de muriate de chaux, il pesait constamment 0g,583. A chaque expérience, le matras fut pesé après avoir été vidé, pour m'assurer que la machine pneumatique en avait ôté toujours la même quantité d'air : le robinet fut tous les jours examiné en laissant le matras vide une demi-heure sur la balance, sans que son poids augmentât par l'entrée de l'air.

Les erreurs d'observation dans cette expérience devaient toujours tendre à donner le poids spécifique du gaz trop petit, par un mélange d'air atmosphérique dans le gaz acide sulfureux. Une seule circonstance pouvait

contribuer à en augmenter le poids : c'était celle où le peu de graisse employée sur le robinet aurait absorbé une certaine quantité d'acide sulfureux. Pour m'en assurer, je pesai le robinet avant et après chaque expérience ; mais son poids ne se trouva point altéré. Il y a encore la possibilité qu'une petite quantité d'acide sulfurique ait pu s'évaporer et se tenir suspendue dans le gaz acide sulfureux ; mais je laissai toujours le gaz longtemps sur le mercure avant que de le faire entrer dans le matras, de manière que la vapeur présupposée eut tout le temps nécessaire pour se déposer.

Si nous admettons 1.31 comme le poids du gaz acide sulfureux dans les expériences précédentes, 58,3 : 131 =1,00 : 2,247. Si, dans ces 2.247 p. de gaz acide sulfureux, il y a un volume égal de gaz oxigène, dont le poids est 1.10359, 100 p. de soufre y sont combinées avec 96.52 p. d'oxigène, au lieu de 98.954, comme il s'ensuit de l'analyse de l'acide sulfurique. Cette déviation est trop grande pour n'être qu'une erreur d'observation. Jusqu'ici toutes les circonstances parlent en faveur des résultats tirés de l'analyse de l'acide sulfurique, qui s'accordent si bien avec les expériences sur la composition des sulfures, et qui se trouvent dans un rapport exact avec les analyses d'autres combinaisons salines, comme nous allons tout de suite le voir.

Je n'ai point pu trouver la cause de cette anomalie. Quelques chimistes prétendent que le gaz oxigène, en se combinant avec le soufre, diminue de volume ; on a fait aller cette diminution même jusqu'à $\frac{1}{12}$. Mais si elle est due à une petite quantité d'hydrogène dans le soufre, ou si elle est une exception à ce que nous consi-

dérons comme une loi générale, c'est ce qui reste à
déterminé par des expériences.

(*La suite au Cahier prochain, page* 11

Nouveaux *détails sur le Cadmium.*

Par M. Stromeyer.

M. Stromeyer a communiqué à la Société royale
Gottingue, dans sa séance du 10 septembre 1818,
première partie de ses recherches sur le nouveau m
qu'il a découvert dans le zinc et ses oxides, et auqu
a donné le nom de *cadmium*. Secondé par deux de
élèves, M. Mahner de Brunsvick, et M. Siemens
Hambourg, il a non-seulement constaté ses prem
résultats (1); mais il a pu donner à ses recherches
plus grande étendue et y porter beaucoup d'exactitu
Il annonce avoir mieux fait connaître les circonstan
qui ont conduit à la découverte du cadmium, et pa
avoir montré la part qu'y ont eue M. Hermann
Schoenebeck, et le Dr Roloff de Magdbourg. Il do
aussi les noms des espèces de zinc, de ses oxides ou
ses mines qui contiennent le cadmium. Parmi ces
nières, M. Stromeyer l'a seulement rencontré dans q
ques blendes et en très-petite quantité, excepté dans q
ques variétés de la blende rayonnée de Przibram
Hongrie, qui en contiennent de 2 à 3 pour 100 : en

---

(1) *Voyez* la première annonce de ce métal, *Ann. de*
et de Phys. VIII. 100.

il donne le procédé pour obtenir le cadmium à l'état de pureté.

D'après ce procédé, on commence par dissoudre dans l'acide sulfurique les substances qui contiennent le cadmium, et on fait passer dans la dissolution, contenant un excès d'acide suffisant, un courant d'acide hydrosulfurique : le précipité qui se forme est recueilli et bien lavé ; on le dissout dans l'acide hydrochlorique concentré, et on dégage par l'évaporation l'acide surabondant. On dissout le résidu dans l'eau, et on le précipite par le carbonate d'ammoniaque, dont on met un excès pour redissoudre le zinc et le cuivre qui auraient pu être précipités par l'acide hydrosulfurique. Le carbonate de cadmium étant bien lavé, on le chauffe pour enlever l'acide carbonique, et on réduit l'oxide qui reste en l'exposant à une légère chaleur rouge, dans une retorte de verre ou de terre, après l'avoir mêlé avec du noir de fumée.

La couleur du cadmium est d'un très-beau blanc tirant légèrement au gris bleuâtre et approchant beaucoup de celle de l'étain. Comme ce dernier métal, il est très-éclatant et prend un très-beau poli ; sa texture est parfaitement compacte et sa cassure crochue. Il cristallise facilement en octaèdres, et présente à sa surface, par le refroidissement, l'apparence de feuilles de fougère. Il est mou, très-flexible, et se laisse limer très-facilement ou couper avec le couteau. Il tache assez fortement : cependant il est plus dur que l'étain, et il le surpasse en tenacité. Il est aussi très-ductile, et on peut le réduire en fils et en feuilles très-minces : néanmoins il s'écaille çà et là par une percussion soutenue. Sa densité, sans

être écroui, est de 8,6040, à la température de 16°,5
écroui, elle est de 8,6944. Il fond avant de rougir, e
ne se volatilise pas beaucoup plus tard que le mercure
Sa vapeur n'a pas d'odeur remarquable; elle se con-
dense aussi facilement que celle du mercure en gouttes,
qui, en se figeant, présentent à leur surface une appa-
rence non équivoque de cristallisation.

Le cadmium est aussi permanent à l'air que l'étain.
Chauffé en contact avec l'air, il brûle avec la même
facilité que ce dernier métal, et se change en un oxide
d'un jaune brunâtre, qui paraît ordinairement sous la
forme d'une fumée de la même couleur, mais qui est
très-fixe. L'acide nitrique le dissout facilement à froid:
l'acide sulfurique étendu, l'acide muriatique et même
l'acidé acétique l'attaquent avec dégagement d'hydro-
gène; mais leur action est très-faible, surtout celle de
l'acide acétique, lors même qu'on la favorise par la
chaleur. Les dissolutions sont incolores et ne sont point
précipitées par l'eau.

Le cadmium ne forme qu'un seul oxide; 100 parties
de métal se combinent avec 14,352 d'oxigène : d'après
cela, le nombre équivalent du cadmium est 69,677, et
celui de l'oxide 69,677 + 10 = 79,677. La couleur de
l'oxide varie suivant les circonstances dans lesquelles il
s'est formé : elle est d'un jaune brunâtre, d'un brun
clair, d'un brun foncé ou même noirâtre. Il est tout-à-
fait fixe et infusible à la plus forte chaleur blanche, et ne
perd point son oxigène. Mêlé avec du charbon, il se
réduit avant la chaleur rouge avec une extrême rapi-
dité. Il se dissout facilement dans le borax sans le co-
lorer, et donne un globule vitreux transparent. Il est

insoluble dans l'eau; mais, dans quelques circonstances, il forme un hydrate incolore qui attire bientôt l'acide carbonique de l'air, et qui abandonne facilement son eau par l'action de la chaleur.

Les alcalis fixes ne dissolvent pas l'oxide de cadmium d'une manière remarquable; mais ils favorisent sa combinaison avec l'eau. L'ammoniaque le dissout, au contraire, facilement; il blanchit d'abord et se change en hydrate. En faisant évaporer l'ammoniaque, il se précipite à l'état d'un hydrate très-gélatineux.

Avec les acides, l'oxide de cadmium se comporte comme une base saturante; il forme des sels qui sont presque tous incolores, possèdent une saveur acerbe métallique, sont en partie très-solubles dans l'eau et cristallisables, et ont les caractères suivans :

1°. Les alcalis fixes en précipitent l'oxide à l'état d'hydrate blanc : ajoutés en excès, ils ne redissolvent point le précipité, comme cela a lieu avec l'oxide de zinc.

2°. L'ammoniaque en précipite également l'oxide en blanc, et sans doute à l'état d'hydrate; mais un excès de cet alcali dissout aussitôt le précipité.

3°. Les carbonates alcalins produisent un précipité blanc qui est un carbonate anhydre : le zinc donne, au contraire, dans les mêmes circonstances, un carbonate hydraté. Le précipité formé par le carbonate d'ammoniaque n'est pas soluble dans un excès de ce dernier : le zinc se comporte d'une manière tout-à-fait différente.

4°. Le phosphate de soude donne un précipité blanc pulvérulent : celui formé par le même sel dans les disso-

lutions de zinc est, au contraire, en belles paillettes cristallines.

5°. L'acide hydrosulfurique et les hydrosulfates précipitent le cadmium en jaune ou en orange. Ce précipité se rapproche un peu, par sa couleur, de l'orpiment, avec lequel on pourrait le confondre sans une attention convenable; mais il s'en distingue en ce qu'il est plus pulvérulent et qu'il se précipite plus promptement; il s'en éloigne surtout par sa facile dissolubilité dans l'acide hydrochlorique concentré et par sa fixité.

6°. Le prussiate triple de potasse et de fer précipite les dissolutions de cadmium en blanc.

7°. La noix de galle n'y produit aucun changement.

8°. Le zinc en précipite le cadmium à l'état métallique, sous la forme de feuilles dendritiques qui s'attachent au zinc.

Voici les sels dont M. Stromeyer a fait un examen particulier :

Le carbonate de cadmium est pulvérulent et insoluble dans l'eau : il perd facilement son acide par le moyen de la chaleur. Il est composé de 100 d'acide et de 292,88 d'oxide.

Le sulfate cristallise en gros prismes droits, rectangulaires, transparens, ressemblant à ceux du sulfate de zinc, et très-solubles dans l'eau. Il est très-efflorescent à l'air, et perd facilement son eau de cristallisation à une douce température. Il ne se décompose que difficilement au feu, et peut être exposé à une faible chaleur rouge sans éprouver le moindre changement. A une température plus élevée, il abandonne de l'acide, et se change en un sous-sulfate qui cristallise en paillettes et qui se dissout

difficilement dans l'eau. Le sulfate neutre est composé de 100 d'acide et de 161,120 d'oxide. 100 parties de ce sel prennent 34,26 d'eau de cristallisation.

Le nitrate de cadmium cristallise en prismes ou aiguilles ordinairement groupés en rayons : il est déliquescent. 100 parties d'acide prennent 117,58 d'oxide, et 100 parties de nitrate sec 28,31 d'eau de cristallisation.

Le chlorure de cadmium cristallise en petits prismes rectangulaires, parfaitement transparens, qui s'effleurissent facilement par la chaleur, et qui sont très-solubles. Il se fond avant la chaleur rouge, après avoir perdu son eau de cristallisation, et se prend par le refroidissement en une masse feuilletée, transparente, d'un éclat un peu métallique et nacré; mais qui, à l'air, perd bientôt sa transparence et son éclat, et tombe en une poussière blanche. A une chaleur plus élevée, le chlorure de cadmium se sublime en petites lames micacées qui ont le même éclat et la même transparence que le chlorure fondu, et qui s'altèrent également à l'air. 100 de chlorure fondu contiennent 61,39 de cadmium et 38,61 de chlore.

Le phosphate de cadmium est pulvérulent, insoluble dans l'eau, et se fond, avant la chaleur d'un rouge blanc, en un corps transparent, vitreux. 100 d'acide phosphorique saturent 225,49 d'oxide de cadmium.

Le borate de cadmium obtenu en précipitant une dissolution de sulfate neutre de cadmium par le borax est à peine soluble dans l'eau. A l'état sec, il est composé, sur 100 parties, de 72,12 d'oxide et de 27,88 d'acide.

L'acétate de cadmium cristallise en petits prismes ordinairement disposés en étoiles, qui sont assez permanens à l'air et très-solubles dans l'eau.

Le tartrate de cadmium cristallise en petites aiguilles molles comme de la laine et à peine solubles dans l'eau. L'oxalate est pulvérulent et insoluble.

Le citrate forme une poussière cristalline, très-peu soluble.

Le cadmium ne se combine avec le soufre que dans une seule proportion, comme avec l'oxigène. 100 parties de cadmium prennent 28,172 de soufre. Ce sulfure a une couleur jaune tirant à l'orange; sa poussière est d'un très-beau jaune orangé. En le faisant chauffer, il prend d'abord une couleur brune, et ensuite une couleur cramoisi; mais il la perd par le refroidissement. Il est très-fixe au feu : ce n'est qu'à la chaleur d'un rouge blanc qu'il commence à fondre; il cristallise ensuite par le refroidissement en lames transparentes micacées de la plus belle couleur jaune de citron. Il se dissout, même à froid, dans l'acide hydrochlorique concentré, avec dégagement d'acide hydrosulfurique; mais il n'est attaqué que très-difficilement, même avec le secours de la chaleur, si l'acide est délayé.

On ne forme que difficilement le sulfure de cadmium en fondant le soufre avec le métal : on l'obtient beaucoup mieux en faisant chauffer un mélange de soufre et d'oxide de cadmium, ou en précipitant un sel de cadmium par l'acide hydrosulfurique.

Ce sulfure, par la beauté et la fixité de sa couleur, ainsi que par la propriété qu'elle possède de bien s'unir aux autres couleurs, et surtout au bleu, promet d'être d'un emploi très-avantageux dans la peinture : quelques essais tentés dans ce but ont donné les meilleurs résultats.

Le phosphure de cadmium obtenu en combinant le métal avec le phosphore a une couleur grise, d'un éclat faiblement métallique : il est très-aigre, extraordinairement réfractaire; mis sur un charbon ardent, il brûle avec une flamme phosphorique très-belle et se change en phosphate : l'acide hydrochlorique le décompose avec dégagement d'hydrogène phosphuré.

L'iode se combine avec le cadmium aussi bien par la voie sèche que par la voie humide : on obtient de grandes et belles tables hexaèdres. Ces cristaux sont incolores, transparens, inaltérables à l'air; leur éclat est métallique, tirant au nacré. Ils se fondent avec une extrême facilité, et reprennent par le refroidissement leur forme primitive. Exposés à une chaleur plus élevée, ils se décomposent et laissent dégager de l'iode : l'eau et l'alcool les dissolvent facilement. Ils sont composés de 100 parties de cadmium et de 227,43 d'iode.

Le cadmium s'unit facilement avec la plupart des métaux lorsqu'on le chauffe avec eux sans le contact de l'air, pour éviter son oxidation. Ses alliages sont la plupart aigres et sans couleur; cependant jusqu'à présent on n'en a fait qu'un petit nombre avec exactitude.

L'alliage de cuivre et de cadmium est d'une couleur blanche tirant un peu au jaune clair; son tissu est à très-petites lames; il est très-aigre, et, dans la proportion de $\frac{1}{100}$, le cadmium communique encore beaucoup d'aigreur au cuivre. Exposé à une chaleur suffisante pour fondre le cuivre, l'alliage se décompose, et le cadmium se volatilise entièrement. On n'a pas, d'après cela, à craindre que, dans la fabrication du laiton, le cadmium qui pourrait être contenu dans le zinc cause aucun

dommage ; on explique aussi pourquoi la tutie contient ordinairement de l'oxide de cadmium. Cet alliage était composé de 100 p. de cuivre et de 84,2 de cadmium.

L'alliage de platine et de cadmium ressemble beaucoup extérieurement au cobalt arsenical ; sa couleur est très-blanche , presque d'un blanc d'argent ; son tissu est extraordinairement fin , et il est très-aigre et difficile à fondre.

100 parties de platine, chauffées avec du cadmium jusqu'à ce que l'excès de ce dernier métal fût volatilisé, en ont retenu 117,3.

Le cadmium s'unit au mercure avec la plus grande facilité, même à froid. La couleur de l'amalgame est d'un très-beau blanc d'argent ; son tissu est grenu et cristallisé ; les cristaux sont des octaèdres ; il est dur et très-fragile ; sa densité est plus grande que celle du mercure : la chaleur de 75° suffit pour le fondre. Il est composé de 100 de mercure et de 27,78 de cadmium.

Les résultats des analyses précédentes se fondent tous sur des expériences directes, et non sur des calculs ; ils sont presque tous la moyenne de plusieurs expériences différant peu entre elles. On trouvera , au reste , en les comparant, que non-seulement ils s'accordent très-bien entre eux ; mais aussi qu'ils correspondent aux équivalens adoptés pour les élémens des composés. Néanmoins M. Stromeyer se propose de leur donner encore plus de précision, parce qu'il pense, et avec raison, que pour que les équivalens puissent servir, en général, à corriger avec avantage pour la science les résultats des analyses, il faut qu'ils aient la plus grande précision.

(Extrait des *Annalen der Physik*. LX. 193.)

Note du Rédacteur. Il paraît qu'on n'est pas encore parfaitement d'accord en Allemagne sur l'historique de la découverte du cadmium. M. Gilbert, le célèbre auteur des *Annalen der Physik*, qui est dans ce moment à Paris, se propose de publier bientôt une note sur cet objet : nous la ferons connaître aussitôt qu'elle nous sera parvenue.

NOUVELLES *Observations sur l'eau oxigénée.*

PAR M. THENARD.

(Lu à l'Académie des Sciences le 16 juin 1819.)

DANS les dernières observations que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie sur l'eau oxigénée, j'ai essayé de démontrer que l'eau saturée d'oxigène contient précisément une fois plus d'oxigène que celle qui est pure, ou, ce qui est la même chose, que l'eau pure peut absorber jusqu'à 616 fois son volume de ce gaz, à la température de zéro et sous la pression de $0^{m}.76$ (1). J'ai fait connaître en même temps les propriétés physiques de ce nouveau liquide, et les phénomènes remarquables qui naissent de son contact avec un certain nombre de substances minérales. Depuis, j'ai étudié son action sur presque toutes les autres substances minérales et sur

---

(1) Dans le Cahier de mars dernier, où sont rapportées ces observations, on a écrit le nombre 850 pour le nombre 616.

presque toutes les substances végétales et animales. Je ne rapporterai point ici tous les résultats que j'ai obtenus ; je n'en citerai qu'un seul qui me semble digne d'attention : c'est que plusieurs matières animales possèdent, comme le platine, l'or, l'argent, etc., la propriété de dégager l'oxigène de l'eau oxigénée sans éprouver d'altération, du moins lorsque la liqueur est étendue d'eau distillée.

J'ai pris de l'eau oxigénée pure, et je l'ai tellement étendue qu'elle ne contenait plus que huit fois son volume d'oxigène ; j'en ai fait passer 22 mesures dans un tube plein de mercure, puis j'y ai introduit un peu de fibrine bien blanche et récemment extraite du sang : à l'instant, l'oxigène a commencé à se dégager de l'eau ; le mercure dans le tube baissait à vue d'œil ; au bout de six minutes, l'eau était complètement désoxigénée ; car elle ne faisait plus d'effervescence avec l'oxide d'argent. Ayant alors mesuré le gaz dégagé, j'en ai trouvé 176 mesures, c'est-à-dire, autant qu'en contenait la liqueur. D'ailleurs, ce gaz ne renfermait ni acide carbonique ni azote : c'était de l'oxigène pur. La même fibrine, mise en contact avec de nouvelle liqueur à plusieurs reprises, s'est comportée de la même manière.

L'urée, l'albumine liquide ou solide, la gélatine ne dégagent pas l'oxigène de l'eau même très-oxigénée ; mais le tissu du poumon coupé en tranches minces et bien lavées, celui des reins, celui de la rate, chassent l'oxigène de l'eau avec autant de facilité au moins que le fait la fibrine. La peau, les vaisseaux veineux sont doués aussi de cette propriété, seulement à un degré moins fort.

Mais puisque la fibrine, les tissus du poumon, de la rate, du rein, etc. possèdent, comme le platine, l'or, l'argent, etc., la propriété de dégager l'oxigène de l'eau oxigénée, il est très-probable que tous ces effets sont dus à une même force. Serait-il déraisonnable de penser, d'après cela, que c'est par une force analogue qu'ont lieu toutes les sécrétions animales et végétales? Je ne l'imagine pas. L'on concevrait ainsi comment un organe, sans rien absorber, sans rien céder, peut constamment agir sur un liquide et le transformer en des produits nouveaux. Cette manière de voir, au reste, s'accorde avec quelques idées qui ont été émises dans ces derniers temps, et qui deviennent en quelque sorte palpables par les expériences qui sont le sujet de cette note.

EXTRAIT *d'une Lettre de M. Pierre Prevost à M. Arago sur les vents que l'on éprouve dans les orages.*

Genève, le 20 mai 1819.

MONSIEUR,

L'explication que Mr M. Dombasle donne du vent que l'on éprouve dans les orages, quelques instans avant l'ondée (1), m'a rappelé celle qui a été insérée dans la collection allemande des *Mémoires des curieux* (*ou plutôt des scrutateurs*) *de la nature, de Berlin.*

Voici en bref ce qu'on y trouve à la page 407, n° 35,

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, tome X, p. 58. Janvier 1819.

sous le titre d'*Extrait d'une lettre de P. Prevost au Dr Pélisson, en date du 27 février* 1791.

« M. Montgolfier, que j'ai eu le plaisir de voir à Genève cet hiver, m'a fait part, en conversation, de quelques idées de physique mécanique qui méritent d'être recueillies. En voici une dont l'objet a de l'intérêt, et que je crois pouvoir vous exposer sommairement. »

Sur un vent de pluie.

« Parmi les vents irréguliers, il y en a un que l'on » pourrait nommer *vent de pluie*, parce qu'il semble » dépendre de l'eau qui tombe des nuages. Lorsque, par » un ciel irrégulièrement parsemé de nuages, il pleut » alternativement de différens points de l'horizon (comme » on le remarque surtout au printemps et en automne), » le vent paraît toujours venir de l'endroit où il pleut; » et on remarque constamment que le courant d'air (dé- » duction faite des causes modifiantes) suit la direction » des nuages; en sorte que la pluie chasse l'air, sous » forme de vent, tout autour de l'endroit où elle tombe. » Tel est le phénomène : en voici l'explication :

» L'air mouille tous les corps; il s'attache aux parois » des vases solides, aussi-bien qu'à la surface des corps » liquides. On peut dire en conséquence que l'air » mouille l'eau : il mouille entre autres la pluie. Chaque » goutte de pluie entraîne avec elle une goutte d'air et » la pousse de haut en bas.

» Par leur rencontre mutuelle et accidentelle, ou fina- » lement par le contact inévitable des corps mouillés, ces » gouttes s'unissent entre elles ou s'unissent à l'eau dé-

» posée sur différens corps. Dès-lors l'air ne peut plus
» rester suspendu aux gouttes de pluie ; il s'échappe en
» entier ou en partie ; et quelque faible que cette cause,
» comparée au vent, puisse paraître en ne considérant
» qu'une goutte isolée, on peut prouver, par le calcul
» et par l'expérience, qu'elle suffit pleinement à l'ex-
» plication du phénomène.

» L'expérience que j'ai en vue est celle des *trompes*
» de forge, dans lesquelles l'eau qui tombe fournit sans
» cesse un nouveau volume d'air au soufflet ou à
» l'évent.

» Le calcul dépend de quelques principes connus.
» La force du vent produit par la cause que je viens
» d'indiquer doit être déterminée par la masse de l'eau
» qui tombe, par sa vitesse, et surtout par sa di-
» vision. »

A la suite de cette exposition, je donnais les bases du calcul de Montgolfier relativement à l'effet de la division de l'eau en petites gouttes. Comme tout cela est consigné dans un recueil à la portée de tous les physiciens, je crois inutile de transcrire la fin de cette courte notice, dont il m'a paru toutefois qu'il était à propos de rappeler le souvenir.

Agréez, Monsieur, etc.

Note du Rédacteur. L'extrait suivant du *Traité du mouvement des eaux*, tome II, 1re partie, 3me discours, page 353 (édition de 1740), montrera que Montgolfier avait été lui-même prévenu par Mariotte dans l'explication du phénomène sur lequel la lettre de

M. Mathieu Dombasle vient de ramener l'attention des physiciens.

« A l'égard des orages et des grandes tempêtes, dit Mariotte, il est difficile de les expliquer par des causes ordinaires. On remarque que lorsqu'en été il fait des pluies épaisses et à grosses gouttes, elles sont toujours accompagnées d'un vent très-violent qui les précède de quelques secondes, et que sa violence cesse aussitôt que la nuée est passée. J'explique ces orages, dont quelques-uns sont capables de renverser les arbres et enlever les toits des maisons, en la manière suivante :

» Lorsque deux vents assez larges, inclinés l'un à l'autre de 15 à 16 degrés, viennent de loin; qu'ayant ramassé et poussé devant eux toutes les vapeurs qu'ils rencontrent, et en ayant formé chacun une nuée épaisse, ils viennent à se rencontrer, ils condensent l'air dans le lieu de leur rencontre, et le mettent en un grand ressort, et selon les règles de la percussion, ils le font aller plus vite d'un tiers à-peu-près que chacun d'eux. Supposant donc que ces vents aillent d'une vitesse à faire 24 pieds en une seconde, qui est la vitesse ordinaire des vents incommodes, et contre lesquels on a peine d'aller; le vent composé des deux ira avec une vitesse à faire 32 pieds en une seconde, et la nuée épaisse qu'ils poussent étant élevée d'une demi-lieue ou d'un quart de lieue, les gouttes de pluie qui s'y forment sont grosses d'environ 3 lignes de diamètre, et acquièrent leur vitesse complète à faire 32 lieues par seconde après 100 pieds de descente, comme il a été expliqué à la fin du *Traité de la percussion.* Chaque goutte entraîne en tombant, depuis la hauteur de la nuée, deux ou trois fois autant

d'air qu'elle est grosse; ce qui se prouve par l'expérience d'une balle de plomb qu'on laisse tomber dans un seau d'eau ; car, dès qu'elle a touché le fond, il s'en élève deux ou trois bulles d'air aussi grosses qu'elle, lesquelles ne peuvent procéder que de l'air qui la suit jusqu'au fond de l'eau. Or, l'on sait que, dans beaucoup de lieux, on se sert de certains soufflets pour faire fondre la mine de fer dans les fourneaux par la seule chute de l'eau; ce qui se fait ainsi : on a un tuyau de bois ou de fer-blanc de 14 ou 15 pieds de hauteur et d'un pied de diamètre, qui est soudé dans une médiocre cuve renversée, dont le bas est posé sur un terrain ; en sorte que pour peu d'eau qui y tombe, elle ferme les ouvertures, et l'air n'y peut plus passer : on laisse au haut du tuyau une ouverture de 3 ou 4 pouces de diamètre, dans laquelle on met un entonnoir dont le goulet est de la même grosseur, et on y fait tomber de 15, 20 ou 30 pieds de hauteur l'eau de quelque fontaine, dont la largeur en tombant est à-peu-près égale à l'ouverture de l'entonnoir; en sorte qu'il ne peut s'y amasser de l'eau que de 5 ou 6 pouces de hauteur : cette eau tombant, entraîne avec elle beaucoup d'air, qui la suit jusqu'au-dessous de l'entonnoir, et même jusqu'au fond de la cuve, lequel ne peut ressortir par l'entonnoir à cause de la pesanteur de l'eau qui continue de tomber, et de la vitesse de son mouvement. On met à côté de la cuve un tuyau qui va en rétrécissant jusqu'auprès du trou du fond du fourneau où le charbon doit être soufflé; et l'air pressé et enfermé dans la cuve ne pouvant sortir par en haut à cause de la chute impétueuse de l'eau qui occupe le trou de l'entonnoir, ni par en bas à cause de l'eau qui s'y amasse, et qui s'élève

d'un pied ou de deux par-dessus les fentes qui restent entre la terre du fond ou les douves de la cuve, il est contraint de sortir avec une très-grande force par le bout du canal, de manière qu'il fait le même effet pour souffler le charbon que les plus grands soufflets dont on se sert ailleurs. Il doit donc arriver que l'eau qui tombe de la nuée en grosses gouttes et en grande abondance entraînant beaucoup d'air, comme il a été prouvé, cet air ne peut remonter quand il est proche de la terre, à cause des autres gouttes qui tombent avec impétuosité. Il ne peut aussi s'étendre vers le derrière de la nuée parce qu'il est soutenu par le grand vent qui la chasse, ni même par les côtés ou fort peu, parce que le même vent pousse la nuée par les deux côtés. Il reste donc que tout son effort se fasse vers le devant de la pluie, et que cet effort, joint à celui du vent qui emporte la nuée, soit environ deux fois plus vite que le vent qui la pousse, et que ce vent augmenté fasse plus de 60 pieds en une seconde : alors il peut renverser des arbres, comme on le prouvera ensuite. Il ne peut précéder la pluie que d'environ trois ou quatre cents pas pour l'ordinaire, par la raison qui a été dite qu'un espace d'air, de telle vitesse qu'il soit poussé, ne peut continuer son mouvement bien loin en ligne droite, si la cause de l'impulsion cesse. Je me suis confirmé dans cette hypothèse en voyant d'une lieue de distance une nuée épaisse d'où il tombait de la pluie; car, du côté d'où venait le vent, les gouttes tombaient presque toutes droites; mais dans le milieu et jusqu'aux premières gouttes, elles faisaient un angle de plus de 45 degrés. La même chose doit arriver par la grêle; et même, si elle était fort

épaisse et les grains fort gros, ils entraîneraient davantage l'air de haut en bas, et feraient une tempête encore plus impétueuse, dont la vitesse pourrait être de 75 pieds par seconde. »

Expériences *sur le nouvel acide produit par la distillation de l'acide sorbique.*

Par M. J.-L. Lassaigne.

M. Vauquelin, dans son travail sur l'acide sorbique et ses combinaisons, observa le premier que cet acide était susceptible de cristalliser et de se sublimer en aiguilles blanches à une certaine température; mais, comme il l'a remarqué, il change de nature par cette dernière opération. (*Ann. de Chim. et de Ph.*, décembre 1817.)

Dernièrement, M. Braconnot, ayant prouvé que l'acide malique était de l'acide sorbique mêlé d'une matière extractive, annonça aussi qu'en le soumettant à la distillation il se formait des cristaux blancs acides à la voûte de la cornue, et que le produit liquide qu'on obtenait était composé d'un acide cristallisable qui jouissait de propriétés particulières, et auquel il a proposé de donner le nom d'*acide pyro-sorbique*.

En répétant ces expériences, j'ai eu pour but d'étudier plus particulièrement quelques-unes des combinaisons de cet acide, et de rendre par là son histoire un peu plus complète.

1°. J'ai introduit 20 grammes d'acide sorbique cristallisé dans une cornue de verre que j'ai chauffée douce-

produit avec les nitrates d'argent, de mercure et de plomb des précipités blancs floconneux.

La combinaison de cet acide avec l'oxide de plomb, qu'on obtient facilement en décomposant un sel de plomb soluble par le pyro-sorbate de potasse présente quelques phénomènes remarquables ; elle se présente d'abord en flocons blancs, et se convertit, peu de temps après, en une gelée demi-transparente comme de l'amidon cuit dans l'eau ; si alors on la délaie dans une certaine quantité d'eau et qu'on recueille cette matière gélatineuse sur un filtre de papier joseph, elle s'affaisse à mesure que l'eau s'en sépare, et, au bout de quelque temps, elle est totalement cristallisée en petites aiguilles nacrées très-brillantes.

Les propriétés de cet acide dont M. Braconnot en avait observé quelques-unes, et celles énoncées dans cette notice, suffisent pour le distinguer de l'acide sorbique qui lui a donné naissance, et des autres acides végétaux; en sorte que je pense avec M. Braconnot qu'on pourrait lui donner le nom d'*acide pyro-sorbique*, qui rappelle tout à-la-fois son origine et sa préparation, et que dorénavant il formera avec les acides pyro-tartrique et pyromucique, dont il diffère sous plusieurs points, une nouvelle classe d'acides végétaux.

Cependant comme, d'après l'observation de M. Gay-Lussac, les chimistes conservent la dénomination d'acide malique à ces deux acides, qui avaient été regardés autrefois comme différens, il conviendrait mieux de l'appeler *acide pyro-malique*, et ses combinaisons *pyromalates*.

En examinant attentivement les cristaux blancs qui

se sont sublimés à la partie supérieure de la cornue, et sur lesquels M. Braconnot n'a point fait d'expériences, je me suis aperçu qu'ils différaient de ceux qui passent en dissolution dans l'eau à la distillation ; ils ont une saveur acide légèrement âcre, une odeur bitumineuse qu'on peut leur enlever en les faisant cristalliser à plusieurs fois dans l'eau.

L'eau froide à la température de + 12° centigrades en dissout environ $\frac{1}{215}$ de son poids. Cette dissolution ne précipite ni l'eau de chaux ni l'eau de baryte; elle forme avec l'acétate de plomb un précipité blanc floconneux, soluble dans un excès de ce sel. Elle précipite le nitrate d'argent en une poudre blanche très-fine, et le persulfate de fer neutre en flocons d'un jaune chamois : ces deux derniers sels ne font rien éprouver à l'acide dont on a parlé plus haut.

La combinaison de cet acide avec la potasse produit un sel cristallisable déliquescent.

L'oxide de plomb forme un sel en une poudre blanche grenue, qui ne cristallise point.

Enfin, les autres propriétés dont jouit cet acide me font penser qu'il est d'une nature particulière.

Extrait *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 3 *mai* 1819.

M. de Lacépède, au nom d'une commission, fait un rapport sur un écrit de M. Fournier, D.-M., intitulé : *Essai sur la musique considérée sous le rapport de son*

influence sur l'homme, *et sous celui de son application comme moyen médical.*

M. Girard fait un rapport étendu sur le Mémoire présenté par M. Cachin, inspecteur général des ponts et chaussées, dans lequel il compare la digue de Cherbourg et le breakwater de Plymouth.

(Nous publierons ce rapport en entier une autre fois.)

L'Académie reçoit un Mémoire destiné au concours pour le prix qu'elle a proposé sur les tables de la lune.

M. Moreau de Jonnès lit des *Remarques sur les circonstances d'un phénomène considéré comme preuve de la théorie des vents alisés.*

Ces remarques sont relatives à l'article que nous avons inséré tome IX, page 216.

M. Moreau de Jonnès nous apprend que la première explosion du volcan de l'île Saint-Vincent eut lieu le 27 avril 1812, vers midi, et que ce phénomène se reproduisit pendant quatre jours consécutifs. Dans la nuit du 30 avril au 1er mai, les explosions furent entendues à la Martinique, et même à la Guadeloupe. La poussière volcanique commença à tomber à la Barbade le 1er mai, vers les sept heures du matin; elle atteignit le Fort royal de la Martinique à une heure après midi, et la Guadeloupe seulement vers le soir. « On ignorait » sans doute, dit M. de Jonnès, dans son Mémoire, que » les sables volcaniques de Saint-Vincent avaient été » portés, non-seulement dans l'est jusqu'à la Barbade, » mais encore à la Martinique, et même à la Guade» loupe, qui gisent à trente-six et à soixante-quinze lieues » du centre de l'éruption, et sont situées dans le pro-

» longement septentrional de sa méridienne ; les époques » de la chute de ces sables sur ces trois points éloignés » ne présentant d'autres différences que celles de l'é» tendue des distances que les éjections ont eues à par» courir. » Il indique ensuite comment, suivant lui, les poussières ont pu être transportées dans des points aussi diversement situés, et termine ainsi :

« Il résulte de ces faits que, loin qu'on puisse attri» buer à des contre-courans d'air supérieurs aux vents » alisés le transport des sables volcaniques, de Saint» Vincent dans l'île de la Barbade, il est prouvé que ce » transport a eu lieu par l'action variable des brises » *australes* qui ont porté presque simultanément ces » éjections arénacées, dans l'ouest et dans le nord, à » des distances dont la plus étendue de celles qu'on » connaisse est de soixante-quinze lieues. »

Lorsque nous rédigions l'article qui a donné lieu à ces remarques, nous ignorions, comme le dit fort bien M. de Jonnès, que la poussière volcanique de Saint-Vincent eût été transportée simultanément dans l'est et dans le nord ; mais loin que ces nouvelles circonstances infirment la conséquence que nous avions tirée, relativement à la théorie des vents alisés, du seul fait que nous connaissions alors, elles nous semblent très-propres à la fortifier. On sait, en effet, que la Barbade est à l'est de l'île de Saint-Vincent. Le vent qui a transporté la poussière volcanique de cette dernière île dans la première a dû indubitablement souffler de l'ouest vers l'est: j'ai quelque peine à comprendre, je l'avoue, comment les *brises australes* dont parle M. de Jonnès, auraient pu produire cet effet. Quoi qu'il en soit, on

devait regretter de ne point connaître d'observatio recte qui prouvât qu'à la date du 30 avril 1812, avait, dans les parages de la Barbade, aucun vent *rieur* qui soufflât de l'ouest à l'est : le transport de la sière de Saint-Vincent à la Guadeloupe sera regardé, probablement, comme une preuve que ces vents rieurs venaient alors du sud. Il ne restera donc q contre-courant opposé aux alisés pour expliquer ment, à la même époque, la poussière volcanique aller de Saint-Vincent à la Barbade ou de l'ouest à l

M. de Jonnès dit qu'il n'a jamais observé ce co courant sur les sommets des montagnes de la Martin Je répondrai que ces sommets ne sont pas assez él et que MM. de Humboldt et Léopold de Buch exemple, avaient, l'un et l'autre, rencontré un d'ouest sur le pic de Ténériffe.

Séance du lundi 10 *mai.*

M. Lévrier, ancien colonel, envoie un *Mémoir de nouvelles manœuvres d'infanterie.* Une commi examinera ce Mémoire.

On fait des rapports verbaux sur divers ouvrage entre autres sur l'excellent *Essai sur les machine* MM. Lanz et Bethancourt, 2me édition.

M. Berzelius lit un Mémoire contenant l'analys minéraux suivans : wavellite, plomb-gomme, cr mite, euclase, calamine de la vieille montagne, Limbourg, pyrite blanche, uranite d'Autun, phos de manganèse de Limoges. (A peine avons-nous b de prévenir nos lecteurs que nous leur ferons conn ce nouveau travail de M. Berzelius.)

e Ferussac lit des remarques détachées sur di-
spèces de mollusques.

omme au scrutin la commission qui doit exa-
s pièces envoyées au concours pour le prix sur
s de la lune.

Séance du lundi 17 mai.

seph-Marie de Bunamante, du Mexique, adresse
oire sur la Cristallographie, qui est renvoyé à
de M. Haüy.

rcy lit un *Mémoire sur le nez, sa perte et sur*
rations.

Prony, au nom d'une commission, lit un rap-
le manuscrit d'une *nouvelle édition de l'Archi-*
ydraulique de Bélidor, corrigée et augmentée
Navier.

ıvrage paraîtra incessamment chez Firmin Didot.
manquerons pas d'en donner alors une ana-
illée. Pour le moment, il nous suffira de trans-
les conclusions du rapport de M. de Prony.

cadémie a pu juger, par l'analyse que nous venons
présenter, combien M. Navier, en publiant le
er volume de l'*Architecture hydraulique de*
or, se place au-dessus des éditeurs ordinaires, et
de la presque totalité des commentateurs. La
osition de ses notes équivaut à celle d'un ou-
considérable, et le mérite de ces mêmes notes
nne des droits à la reconnaissance publique, et
ulièrement à celle des ingénieurs qui doivent

» vivement en desirer la continuation pour les volume
» suivans.

» Nous pensons en conséquence que son travail e
» digne des éloges et des suffrages de l'Académie. »

Ces conclusions sont adoptées.

M. Despretz lit un *Mémoire sur les quantités d chaleur nécessaires aux différens liquides pour se consti tuer en état de vapeur.*

Une commission examinera ce travail de M. Despret

Séance du lundi 24 mai.

M. Moreau de Jonnès lit une *Note sur les maladi régnantes aux Antilles.*

Des individus vaccinés ont couché impunément av des variolés, à l'époque de la suppuration des bouton si quelques enfans qu'on croyait vaccinés ont été attein de la variole, une observation attentive a prouvé q ce sont uniquement ceux qui avaient été vaccinés p d'autres personnes que des gens de l'art, soit avec faux vaccin, soit par des pratiques défectueuses.

M. Dupuytren lit des *Observations sur la ligat des artères sous-clavière, iliaque externe, caroti primitive et autres, faite avec succès sur l'homme.* (No ferons connaître le jugement de la commission.)

M. Fourier fait un rapport sur l'*Enumération*, dre par M. Benoiston de Châteauneuf, *des principaux obj de consommation et d'industrie de la capitale.* Ce trav reçoit l'approbation de l'Académie.

M. de Châteauneuf ayant eu la complaisance de n confier le manuscrit de son Mémoire, nous en prés

terons un extrait détaillé dans un de nos prochains Cahiers.

M. Monsigni lit un *Mémoire sur la Théorie de la musique.*

La séance a été terminée par la lecture d'un *Mémoire de M. Deville sur le* cholera-morbus *qui a régné au Bengale en* 1818.

Séance du lundi 31 *mai.*

M. A. Vene, capitaine du génie, envoie un Mémoire manuscrit sur une erreur qui, suivant lui, se trouve dans tous les ouvrages de statique.

M. le Maréchal Duc de Raguse présente, de la part de l'auteur, M. Pertuisier, *la Fortification ordonnée d'après les principes de la stratégie et de la balistique modernes.*

M. Duméril fait un rapport sur le *Traité des maladies des végétaux* de M. Caffin, D.-M.

Une partie de cet ouvrage est pleine de savoir et de connaissances; le reste est écrit dans un esprit systématique dont la science ne pourra tirer aucune utilité.

M. Percy lit un Rapport sur un *procédé de M. Valette à l'aide duquel on pourra distribuer l'eau chaude dans les maisons de Paris, pour la préparation extemporanée des bains de toutes les températures.*

M. Valette a ingénieusement adapté à de vastes tonneaux, des cylindres métalliques et des tuyaux à l'aide desquels la chaleur de son foyer se dissémine uniformément dans toute la masse liquide. Ses voitures pourront d'ailleurs cheminer dans les rues sans incommoder

personne. Les conducteurs porteront l'eau à tel étage qu'on voudra, dans une espèce particulière d'outre et sur un crochet dont la forme est nouvelle. L'eau nécessaire pour un bain coûtera 80 centimes; on paiera 50 centimes de plus si l'on doit fournir, en outre, la baignoire. Celles que M. Valette veut employer sont en cuirs solidement vernis et inaltérables, même par l'eau bouillante; elles se ploient comme ces tasses dans lesquelles boivent les chasseurs; leur charpente ou soutien, qui est en fer, se ploie de même : il ne faut qu'un instant pour apprêter l'une et l'autre.

Les commissaires ont pensé que l'Académie devait encourager l'entreprise de M. Valette.

M. Savart lit un *Mémoire sur la Construction des instrumens de musique*.

Nous ferons connaître le rapport de la commission que l'Académie a nommée pour examiner le Mémoire de M. Savart.

ANALYSE *de la bile du coaïta fauve.* Ateles-arachnoïdes. (*Geoffroy*, Annales du Muséum, *tome XIII, page* 9.)

Par MM. A. CHEVALLIER et J.-L. LASSAIGNE.

CETTE bile avait une couleur jaune, une consistance visqueuse; son odeur était fade, sa saveur amère : elle ne faisait éprouver aucun changement au papier de tournesol ni au sirop de violette.

Mise en contact avec de l'alcool à 36°, il se forma de suite une pellicule de couleur jaune. Cette pellicule, séparée du liquide et examinée, a été reconnue pour de l'albumine coagulée par l'alcool et colorée par la matière jaune de la bile. Cette albumine, mise en contact avec une légère solution alcaline, se décolora en partie. La liqueur, saturée par un acide, laissa déposer la matière colorante sous forme de flocons.

L'alcool, qui avait pris une couleur verdâtre, traité par l'acétate de plomb, a laissé déposer un précipité qu'on a traité par l'acide nitrique étendu, après l'avoir lavé : l'acide s'est emparé du plomb et a mis à nu la matière résineuse verte qui s'était précipitée avec lui.

La liqueur d'où l'on avait séparé la résine verte au moyen de l'acétate de plomb, ne précipitant plus par ce réactif, on y ajouta quelques gouttes de sous-acétate. Il se produisit un précipité assez abondant qui, lavé et dissous dans l'acide acétique, a été soumis à l'action d'un courant de gaz acide hydrosulfurique pour précipiter le plomb. La liqueur, filtrée et évaporée, a donné un résidu d'une saveur douce, puis amère, qui avait toutes les propriétés du picromel.

Une partie de la bile du coaïta brûlée et incinérée, et le lavage des cendres examiné par les réactifs, nous y avons reconnu la présence des muriates de soude, de potasse et de phosphate de soude.

Le résidu insoluble dans l'eau, traité par l'acide muriatique, s'y est dissous sans effervescence : en l'examinant, nous l'avons reconnu pour du phosphate de chaux (1).

---

(1) Ce n'était qu'une très-petite quantité.

Cette bile contient donc :

1°. De l'albumine ;
2°. De la matière colorante jaune ;
3°. De la résine verte ;
4°. Du picromel ;
5°. Des muriates de potasse et de soude ;
6°. Du phosphate de soude ;
7°. Des traces de phosphate de chaux.

Examen *chimique de la bile du Couguar.* Felix discolor. (*Buffon.*)

Cette bile avait une couleur jaune-rougeâtre, une saveur douce, puis légèrement amère ; elle ne bleuissait pas le papier de tournesol rougi par les acides : elle moussait par l'agitation. Exposée à l'action du feu, elle a pris une couleur verte en laissant coaguler l'albumine qui entraîna avec elle la matière jaune et une assez grande quantité de résine verte. Cette albumine, traitée par l'alcool, a coloré ce véhicule en vert; exposé à l'action du feu, il s'est évaporé en laissant pour résidu la matière résineuse.

L'albumine ayant par cette opération perdu une partie de sa couleur, nous l'avons ensuite traitée par une dissolution de potasse qui se colora en jaune. Saturée par un acide, elle laissa déposer des flocons jaunes : leur petite quantité ne nous permit pas de les examiner.

Le liquide d'où l'albumine avait été séparée par l'action du calorique, filtré, a été précipité par l'acétate

de plomb ; le précipité, lavé, a été traité par l'acide nitrique, qui l'a séparé de la matière verte que nous avons dissoute dans l'alcool.

La liqueur d'où nous avions précipité par l'acétate de plomb la matière résineuse, mêlée à de l'acétate avec excès de base, a produit un précipité floconneux, qui, lavé et dissous dans l'acide acétique, a été traité par l'hydrogène sulfuré pour séparer le plomb ; le liquide, filtré et évaporé, a laissé un résidu qui avait toutes les propriétés du picromel ; il était soluble dans l'alcool, précipitable par les sels de fer, par le sous-acétate de plomb, etc. Nous avons cependant remarqué que sa saveur était moins amère que celle du picromel de la bile de bœuf.

La petite quantité de cette bile ne nous permit pas d'examiner quels étaient les sels qui s'y trouvaient.

Il résulte de cet examen que la bile du couguar contenait :

1°. De l'albumine ;
2°. De la matière jaune ;
3°. De la résine verte ;
4°. Du picromel.

Un morceau du foie auquel tenait la vésicule du fiel nous ayant paru avoir l'odeur de la bile, nous l'avons mis dans de l'alcool qui se colora en jaune, et prit l'odeur fade de la bile et sa saveur douce, puis légèrement amère. Soumis à l'action de la chaleur, nous y avons reconnu de l'albumine qui n'avait pas été concrétée par l'alcool, parce que ce liquide s'était affaibli

par l'eau contenue dans le foie. Nous avons aussi reconnu dans cet alcool de la matière jaune, un peu de résine verte et des traces de picromel.

REMARQUE *sur la décomposition des chlorures d'oxide par le nitrate d'argent.*

LE Dr Thomson s'est servi du nitrate d'argent pour décomposer le chlorure de chaux, et il a évalué la quantité de chlore par celle du chlorure d'argent qu'il a obtenu. (Tome X, page 425 de ce journal.) M. Chenevix avait employé le même procédé pour démontrer que le chlorate de potasse se forme au moment où le chlore est en contact avec l'alcali. Il prenait deux portions égales de chlorure de potasse; il précipitait l'une d'elles par le nitrate d'argent, et il attendait pour précipiter l'autre qu'elle eût été évaporée à siccité, opération pendant laquelle la formation du chlorate de potasse avait lieu. Il obtenait pour chaque portion la même quantité de chlorure d'argent, et il en concluait qu'il fallait nécessairement que le chlorate se formât au moment où le chlore et la potasse se combinent. (*Trans. phil.*, 1802.)

M. Berthollet avait reconnu, par des expériences directes, l'existence du chlorure de potasse contestée par M. Chenevix, et il regardait le nitrate d'argent comme n'étant pas un réactif fidèle. (*Stat.*, ch. II. 196.) Il est aisé, en effet, de faire voir que lorsqu'on emploie ce sel pour décomposer un chlorure d'oxide, il se produit aussitôt du chlorate d'argent.

On convient que le précipité produit par le nitrate d'argent, dans la dissolution de chlorure de chaux, par exemple, est du chlorure d'argent, et que la chaux se combine avec l'acide nitrique; mais, dans ce cas, que devient l'oxigène de l'oxide d'argent; car il ne se dégage point?

Si l'on verse du nitrate d'argent dans le chlorure de chaux jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité, qu'on fasse évaporer le liquide surnageant et qu'on décompose le résidu à une douce chaleur, il se dégagera de l'oxigène et on obtiendra du chlorure d'argent après avoir dissous le résidu dans de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique. Ce chlorure et l'oxigène ne peuvent provenir que de la décomposition d'un chlorate, et il est évident que le nitrate d'argent n'avait pas précipité tout le chlore.

La formation du chlorure et du chlorate d'argent, dans la circonstance dont il est ici question, est tout-à-fait semblable à celle du chlorure de potassium et du chlorate de potasse, lorsqu'on sature une dissolution de potasse avec du chlore. On peut concevoir que le chlorure de chaux, qui doit sa permanence à la grande solubilité du chlorure de calcium et du chlorate de chaux, se change d'abord en chlorure d'oxide d'argent, et que ce dernier se décompose aussitôt en vertu de l'insolubilité du chlorure d'argent, et produit du chlorure d'argent et du chlorate.

CONSERVATION *de l'eau douce en mer.*

M. PERINET vient d'examiner, dans un Mémoire imprimé à Arras, les divers moyens proposés jusqu'à ce jour pour empêcher l'eau de se corrompre à bord des vaisseaux. Il trouve à tous des inconvéniens plus ou moins graves, et, après divers essais, il donne la préférence au procédé suivant. Il met de l'oxide de manganèse en poudre dans l'eau qu'il veut conserver, dans la proportion de $1\frac{1}{2}$ à 250, et fait agiter le mélange tous les quinze jours. Après une expérience de sept ans, l'eau n'avait éprouvé aucune altération.

Nous observerons que l'oxide de manganèse a non-seulement la propriété d'empêcher l'eau de se corrompre, mais encore celle de la rétablir lorsqu'elle est corrompue. Ce procédé offre cependant un inconvénient qui pourrait être très-grave, c'est que l'eau retient un peu de manganèse en dissolution. Il vaut beaucoup mieux conserver l'eau dans des vases cubiques de forte tôle de fer, comme la marine anglaise le pratique aujourd'hui, ou peut être encore distiller l'eau en mer, comme M. Fressynet a tenté de le faire.

SUR *la manière de greffer les arbres en écusson.*

ON greffe souvent les arbres par ce procédé, en faisant une section transversale dans l'écorce de la tige et une fente perpendiculaire au-dessous : le bourgeon est

alors poussé en bas pour lui donner la position qu'il doit garder; mais cette opération n'est pas toujours couronnée de succès. Il vaut mieux employer une méthode inverse, c'est-à-dire, faire la fente verticale au-dessus de la section transversale de l'écorce, et pousser le bourgeon en haut pour le mettre dans sa position. Il est rare de ne pas réussir en suivant ce procédé. Cela tient à ce que la sève, comme on l'a démontré dans ces derniers temps, descend au lieu de monter par l'écorce; le bourgeon placé au-dessus de la section transversale reçoit alors en abondance de la sève qui lui est refusée quand il est au-dessous.

Procédé *pour faire rapporter du fruit aux vieux arbres.*

Dans quelques parties de la France, pour donner de la vigueur aux vieux pommiers ou aux poiriers et leur faire rapporter du plus beau fruit, on emploie un procédé qui n'est pas assez généralement connu et qui mérite de l'être. Il consiste à couper toutes les petites branches, et à greffer en fente toutes celles de la grosseur de 3 à 4 centimètres. Un arbre ainsi chargé de cent à cent cinquante greffes est en pleine vigueur au bout de deux ans, et commence à donner du fruit.

JOURS.	9 heures du matin			Midi.			3 heures du soir.			9 heures du soir.			Thermomètre.		État du ciel à midi.	Vents
	Barom. à 0°.	Therm extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	maxim.	minim.		
1	754,07	+14,1	55	753,53	+17,0	41	752,78	+16,7	38	752,70	+11,7	50	+17,0	+ 1,8	Beau.	S. E.
2	751,08	+17,1	56	750,20	+20,7	47	748,87	+21,7	43	748,50	+15,5	48	+21,7	+ 5,0	Quelques nuages.	S. E.
3	747,84	+19,5	56	746,94	+21,7	46	746,07	+22,4	45	745,72	+16,2	70	+22,4	+ 9,0	Trouble.	S. E.
4	746,04	+16,6	80	745,45	+18,0	62	744,46	+14,0	92	745,42	+10,0	90	+20,2	+10,0	Pluie et tonnerre.	S. S. E.
5	748,41	+14,7	72	748,54	+17,1	70	749,28	+15,0	70	751,67	+11,0	88	+17,1	+ 6,0	Couvert.	S.
6	756,74	+15,1	65	757,00	+16,5	62	757,22	+16,1	63	758,06	+12,0	82	+16,5	+ 7,5	Quelques éclaircies.	O. N. O.
7	758,28	+16,5	71	757,76	+18,7	53	756,77	+20,5	51	756,92	+16,1	51	+20,5	+ 7,2	Nuageux.	E.
8	757,00	+17,7	50	757,04	+19,4	43	756,55	+19,5	42	756,95	+16,2	39	+20,0	+11,6	Couvert.	E. S. E.
9	759,45	+17,7	53	759,54	+20,1	40	759,03	+20,5	30	759,73	+16,2	46	+20,5	+ 7,2	Beau.	E.
10	761,26	+16,5	73	762,46	+19,2	54	760,43	+20,1	41	761,33	+14,7	83	+20,1	+12,2	Très-nuageux.	N. O.
11	762,18	+17,5	66	761,53	+20,9	46	760,68	+21,9	42	760,80	+15,8	70	+21,9	+ 8,7	Nuageux.	N. O.
12	760,30	+16,9	75	759,73	+21,4	58	758,63	+22,7	51	758,63	+16,2	68	+22,7	+13,2	Couvert.	O.
13	759,00	+16,0	77	758,70	+18,1	68	758,54	+18,5	64	759,94	+12,2	70	+18,5	+ 9,7	Couvert.	N. O.
14	761,11	+14,7	58	760,66	+16,2	52	760,02	+17,7	48	759,63	+12,5	65	+17,7	+ 9,2	Très-nuageux.	N. O.
15	758,60	+14,5	63	757,50	+18,1	52	757,16	+18,5	49	757,23	+14,0	70	+18,6	+ 7,5	Très-nuageux.	N.
16	758,20	+14,5	64	757,63	+16,7	51	756,87	+18,0	40	756,40	+14,7	57	+18,1	+ 8,7	Beau.	E.
17	755,98	+17,0	52	755,29	+22,0	46	754,25	+23,1	40	754,08	+16,6	56	+23,1	+ 7,2	Légères vapeurs.	E. S. E
18	755,88	+19,7	62	755,77	+21,1	58	755,06	+22,5	56	753,90	+18,7	60	+22,5	+13,2	Légers nuages.	O. S. O.
19	749,52	+22,2	51	748,80	+25,2	51	747,96	+23,4	63	748,70	+18,0	80	+26,9	+13,5	Trouble et nuageux.	S. fort.
20	748,80	+21,5	59	748,83	+22,0	58	748,10	+21,1	57	747,38	+13,2	94	+22,5	+13,2	Très-nuageux.	S. fort.
21	748,03	+15,0	77	748,75	+17,7	59	748,30	+18,8	60	748,27	+13,7	78	+18,8	+12,5	Très-nuageux.	S S. O. f.
22	751,02	+17,7	70	751,36	+19,0	55	751,80	+19,6	51	753,74	+13,0	76	+19,6	+11,2	Très-nuageux.	S. fort.
23	754,05	+20,1	62	752,91	+22,9	49	751,68	+24,5	49	751,63	+19,0	70	+24,5	+ 8,5	Nuageux.	E. S. E.
24	752,78	+24,0	61	753,20	+25,2	57	752,08	+24,5	58	753,00	+15,7	98	+25,2	+14,7	Nuageux.	S. O.
25	752,82	+21,2	68	752,55	+17,0	84	751,26	+21,2	65	751,40	+14,4	96	+21,7	+14,0	Forte averse.	O.
26	751,40	+14,5	92	751,75	+15,1	92	751,15	+15,2	88	750,62	+14,4	95	+15,6	+14,0	Pluie fine et continue.	O.
27	750,70	+13,0	79	750,90	+13,7	74	750,59	+12,0	89	750,67	+11,3	96	+13,7	+11,2	Couvert.	N. N. O.
28	751,50	+11,0	78	751,57	+12,9	67	751,58	+14,6	49	751,68	+11,2	60	+14,5	+ 8,5	Quelques éclaircies.	N. E.
29	751,28	+ 9,7	74	751,68	+10,4	63	752,09	+12,0	61	753,60	+10,5	70	+12,1	+ 8,5	Couvert.	N. E.
30	756,26	+11,7	57	756,56	+13,7	44	757,18	+14,0	41	759,43	+ 8,9	70	+14,0	+ 7,5	Nuageux.	N. E.
31	761,14	+15,0	64	761,22	+17,0	56	761,14	+17,7	53	761,28	+13,2	72	+17,7	+ 5,0	Très-nuageux.	N. O.
1	754,02	+16,6	63	753,85	+18,8	52	753,15	+18,6	51	753,70	+14,0	65	+19,6	+ 7,7	Moyennes du 1 au 10.	
2	756,96	+17,4	63	756,44	+20,2	54	755,73	+20,7	51	755,67	+15,2	69	+21,2	+10,4	Moyennes du 11 au 20.	
3	752,82	+15,7	71	752,95	+16,8	64	752,62	+17,6	60	753,30	+13,2	80	+17,9	+10,5	Moyennes du 21 au 31.	
	754,54	+16,5	66	754,37	+18,8	57	753,79	+18,5	54	754,19	+14,1	71	+19,5	+ 9,6	Moyennes du mois + 14,6.	

SUITE

Des Expériences pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques qui servent de base aux calculs relatifs à la théorie des proportions chimiques.

PAR J. BERZELIUS.

Baryte, Sulfate et Muriate de baryte.

10 gr. de muriate de baryte pur et parfaitement privé d'eau ont été dissous dans de l'eau, et la dissolution a été mêlée avec du nitrate d'argent aussi long-temps qu'il se formait un précipité. J'ai obtenu, dans une expérience, 13g.806, et dans une autre 13.808 de muriate d'argent fondu.

Le muriate de baryte est donc composé de :

Acide muriatique,	26.37	100.000;
Baryte,	73.63	279.226.

Si, d'après cette expérience, on calcule la composition de la baryte, on trouve qu'elle doit contenir 10.451 pour 100 d'oxigène.

10 gr. de muriate de baryte, décomposés par de l'acide sulfurique, ont donné, dans une expérience, 11g.217, et dans une autre 11g.218 de sulfate de baryte.

Le sulfate de baryte est donc composé de :

Acide sulfurique,	34.337	100.00;
Baryte,	65.643	191.07.

Si, d'après ces données, on calcule la composition de la baryte, on trouve qu'elle doit contenir 10.443 pour 100 d'oxigène. Les résultats de ces deux expériences ne diffèrent donc que de 0,0008, et peuvent par conséquent être considérés comme très-près de la vérité.

Composition des acides du phosphore, des phosphates et des phosphites.

Cette suite de recherches a déjà été publiée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. II. p. 151; nous nous contenterons donc d'ajouter ici le résultat de quelques nouvelles recherches que l'auteur a faites sur les phosphates de baryte et de chaux. Il avait trouvé que le phosphate neutre de chaux déviait un peu de la composition qui devait résulter de la capacité de saturation générale de l'acide phosphorique. Il a reconnu ensuite que la déviation trouvée par l'expérience provient de la grande tendance qu'a l'acide phosphorique à produire le même sous-phosphate qui se trouve dans les os des animaux, et dont toujours une quantité plus ou moins grande se mêle avec le phosphate neutre lorsqu'on cherche à produire ce dernier. Il a aussi trouvé que le phosphate de baryte donne un sous-phosphate lorsqu'on le traite par l'ammoniaque caustique, et que dans ce sous-phosphate l'acide est combiné avec $1\frac{1}{4}$ autant de base que dans le sel neutre, c'est-à-dire, que ce sel est composé de :

Acide phosphorique,	27.07	100;
Baryte,	72.93	269.3.

Les différens sur-sels et sous-sels anomaux que produit l'acide phosphorique avec la baryte et la chaux

méritent l'attention des chimistes, d'autant plus que jusqu'ici ils sont les seuls exemples de leur genre.

Lorsque la quantité de l'acide phosphorique est la même, les multiples des deux bases se font, dans leurs différentes combinaisons avec l'acide, par les multiples suivans, à commencer par la combinaison qui renferme le moins de base :

	Baryte.	Chaux.
Dans le biphosphate.	1	1 ;
—— le phosphate acide préparé par l'alcool.	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{3}$;
—— le phosphate neutre	2	2 ;
—— le premier sous-phosphate.	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{2}{3}$;
—— le second sous-phosphate .	3	3.

Si, d'un autre côté, la quantité de la base reste la même, les multiples de l'acide se font par les multiples suivans, à commencer par le sous-sel qui contient le moins d'acide.

	Baryte.	Chaux.
Le second sous-sel	1.0	1.000 ;
Le premier sous-sel.	1.2	1.125 ;
Le sel neutre.	1.5	1.500 ;
Le phosphate acide préparé par l'alcool.	2.	2.250 ;
Le biphosphate	3.0	3.000.

On voit, par cette comparaison, que les anomalies ne tombent que sur les combinaisons intermédiaires, dont nous ne connaissons point encore des analogues dans les combinaisons des autres acides avec les bases.

Expériences sur la composition de l'acide boriq
Nous avons là-dessus des expériences directes par
combsution du bore, tant par M. Davy que par MM. Ga
Lussac et Thenard. Le premier y trouva 73 pour 1
d'oxigène, tandis que les derniers n'y trouvèrent q
33 pour 100. Comme il me parut bien probable que d
recherches sur la capacité de saturation de l'acide b
rique devaient nous indiquer laquelle de ces deux donné
d'ailleurs si différentes, se rapproche le plus de la vérit
j'entrepris quelques expériences là-dessus. Je fis chauf
de l'acide borique à rouge dans un creuset de plati
pour en éloigner l'acide sulfurique dont il se trouve
plus souvent souillé. Je fis dissoudre l'acide fon
dans de l'eau bouillante, et je le fis cristalliser de no
veau. Les cristaux bien séchés ont été exposés dans
bain de sable à une température au-dessus de + 100
mais long-temps avant de rougir, ils ont perdu 0.2
de leur poids. Chauffés dans un creuset de platine p
la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, l'acide per
encore 0.129, ce qui fait en totalité 35 pour 100. 10 gran
mes d'acide borique cristallisé ont été mêlés avec 40 gram
mes d'oxide de plomb pur, et une quantité d'eau suf
fisante pour délayer le mélange. On l'a fait digérer, jus
qu'à ce que l'acide borique se fût combiné avec l'oxid
de plomb; on l'a ensuite évaporé à sec et rougi au fe
La masse calcinée pesait 45.6 gr. : 4,4 gr. d'eau s'étaie
donc séparés de l'acide cristallisé par son union av
l'oxide de plomb. Cette quantité est précisément de
fois celle que l'acide avait perdue à la chaleur
bain de sable. Cette expérience paraît donc prouv
que l'acide borique cristallisé contient deux portio

d'eau, dont l'une lui sert comme base salifiable, et l'autre comme eau de cristallisation. Cette dernière se dégage à une légère chaleur, tandis que l'autre demande une température plus élevée, ou l'addition d'une base pour se séparer entièrement de l'acide. Les expériences précitées donnent lieu à supposer que l'eau qui sert de base à l'acide borique se dégage à deux différentes époques; une moitié se sépare d'abord, et l'autre reste combinée avec l'acide, en forme, pour ainsi dire, d'un sur-borate d'eau.

10 grammes de borate d'ammoniaque cristallisé ont été mêlés dans une cornue exactement pesée, avec 40 gr. de chaux pure; après quoi, on a adapté la cornue à un petit récipient tubulé rempli de potasse caustique, et muni d'un tube de verre de même rempli de potasse caustique, par lequel on donna issue au gaz ammoniacal. Le récipient et le tube avec la potasse étaient exactement pesés avant l'expérience. On fit ensuite chauffer lentement la cornue jusqu'à ce que, à une chaleur presque rouge, il ne se dégageât plus de gaz ammoniaque. On fit alors refroidir l'appareil, on ôta le récipient et on en chassa le gaz ammoniaque moyennant un courant d'air qui passa sur du muriate de chaux avant d'entrer dans le récipient. Le récipient et le tube avaient acquis 3.173 gr. d'eau, et dans la cornue 3.795 gr. d'acide borique restèrent combinés avec la chaux. La perte, 3g.032, doit donc être attribuée au gaz ammoniaque. Ainsi, le borate d'ammoniaque est composé de :

Acide borique,	37.95	100;
Ammoniaque,	30.31	79.895;
Eau,	31.73.	

Cette quantité d'eau contient 28 p. d'oxigène; et l'ammoniaque, dans l'hypothèse qu'elle renferme une quantité d'oxigène proportionnelle à la quantité d'acide qu'elle sature comparativement avec les autres bases salines, en contient 14.07 p. (1), qui, multipliées par 2, donnent 28.14; de manière que, dans ce sel, tout comme dans le sulfate et l'oxalate d'ammoniaque, l'eau de combinaison contient deux fois autant d'oxigène que la base. Les 79.895 p. d'ammoniaque, dont 100 p. d'acide borique sont saturées, contiennent 37.085 p. d'oxigène; et si l'acide borique en contient deux fois autant, il est composé de 74.17 pour 100 d'oxigène et de 25.83 de bore; ce qui s'approche de bien près de la détermination faite par M. Davy. Le résultat fourni par

---

(1) La quantité d'oxigène qui, dans l'hypothèse que l'ammoniaque est un corps oxidé, doit se trouver dans cet alcali, est ici déterminée d'après les poids spécifiques des gaz qui sont produits par l'analyse. Dans toutes les expériences, pour déterminer par voie indirecte la quantité d'oxigène probable dans le gaz azote, on trouve la moitié de son volume d'oxigène, et en analysant les sels à base d'ammoniaque, on trouve que celle-ci ne peut contenir que la quantité d'oxigène qui doit se trouver dans le gaz azote produit par sa décomposition. Voici une manière de le constater : 100 parties en volume de gaz acide carbonique se combinent avec 200 p. en volume de gaz ammoniaque. Dans tous les carbonates proportionnels à cette combinaison, l'acide contient deux fois l'oxigène de la base; et comme l'acide carbonique en contient un volume égal au sien, il faut que le gaz ammoniaque en contienne $\frac{1}{4}$ de son volume. Mais le gaz ammoniaque donne la moitié de son volume de gaz

l'analyse du borate d'ammoniaque est encore confirmé par les dernières analyses faites sur le biborate de magnésie (boracite des minéralogistes), dans lequel 100 p. d'acide borique saturent une quantité de base dont l'oxigène est 18.54, c'est-à-dire, la moitié du nombre trouvé plus haut.

J'ai voulu encore vérifier cette expérience par l'analyse des borates de baryte et de plomb; mais ces sels m'ont toujours donné des résultats variant d'après une élixiviation plus ou moins long-temps continuée, par laquelle ces borates se décomposent, de manière que l'eau enlève une partie qui est à un autre point de saturation que celle qui reste. Encore le borate de baryte précipité par le borax contient toujours une plus grande

---

azote, qui ne peut contenir ni plus ni moins que la moitié de son volume de gaz oxigène. D'où il s'ensuit que l'hydrogène ne peut point contenir d'oxigène. D'après ces calculs, l'ammoniaque contient 46.417 pour 100 d'oxigène; et si toutefois les phénomènes d'une réduction de l'ammoniaque analogue à celle des autres alcalis et bases salifiables, opérée par la pile électrique, n'est point un phénomène trompeur, cet alcali est un oxide à radical double (d'hydrogène et du radical de l'azote), qui est à la potasse dans le même rapport que l'acide acétique est à l'acide sulfurique. Je prends la liberté de renvoyer le lecteur qui souhaitera un plus grand développement de ces probabilités à mon Mémoire *sur la nature de l'azote, de l'hydrogène et de l'ammoniaque, ainsi que sur la composition exacte des acides nitreux et nitrique*, publié dans les *Annales* du Dr Thomson, octob. et nov. 1813.

proportion d'acide que le borate de soude, de manière que ce dernier précipite un mélange de borate et de biborate de baryte.

J'aurais dû vérifier ces expériences sur la composition de l'acide borique par la synthèse; mais n'ayant point de bore à ma disposition, j'ai été obligé d'y renoncer.

Expériences sur la composition probable de l'acide fluorique, calculée d'après sa capacité de saturation. Plusieurs chimistes se sont occupés de déterminer la capacité de saturation de l'acide fluorique en analysant le fluate de chaux; je citerai MM. Wenzel, Richter, Klaproth, Dalton, Thomson et Davy; mais leurs expériences ont donné des résultats si variables que, par exemple, Klaproth trouva la capacité de saturation de cet acide un tiers plus grande que M. Dalton. Sir Humphry Davy obtint de 100 p. de fluate de chaux du Derbyshire, en le faisant digérer huit fois successivement avec de l'acide sulfurique, 175.2 p. de gypse. Dans une analyse d'un fluate de chaux des mines de fer de Rosberg, 100 p. de fluate m'avaient donné 173 p. de sulfate de chaux coloré en rouge par de l'oxide de fer, qui avait perdu son acide pendant qu'on fit rougir le sulfate de chaux (1). Je crus cependant devoir mettre moins de confiance en ces expériences qu'en d'autres faites par Sir John Davy sur l'acide fluo-silicique et sur ses combinaisons avec l'ammoniaque. Ces expériences donnent la capacité de saturation de l'acide fluorique plus grande encore que l'analyse du fluate de chaux par Sir H. Davy. Je m'en suis

---

(1) *Afh. i fysik, kemi, mineral.*, t. IV, p. 243.

servi non-seulement pour déterminer la composition de quelques fluates, mais encore pour déterminer celle de la silice. Cependant les expériences de M. John Davy ont donné un résultat inexact, comme je le ferai voir plus bas, en m'occupant de la composition de la silice; mais l'erreur qui en résulte dans les calculs ne se laisse pas tout de suite découvrir, puisque sur les fluates ce résultat ne fait que 2 pour 100 de différence; et pour la composition de la silice, une autre inexactitude en sens contraire corrige le résultat calculé. Cependant, comme il m'était nécessaire de savoir avec beaucoup d'exactitude la composition de la silice, et comme je croyais que l'analyse du gaz acide fluosilicique pouvait servir à cet objet, je voulus commencer par étudier la capacité de saturation de l'acide fluorique. Pour éviter l'objection de la présence de la silice dans le fluate de chaux, je choisis pour mes premières expériences le fluate d'argent.

Pour le préparer, je distillai, dans un petit appareil de platine, du fluate de chaux avec de l'acide sulfurique. L'acide fut reçu par de l'eau dans une tasse de platine, et j'ajoutai ensuite du carbonate d'argent au liquide, jusqu'à ce qu'il en fût saturé. Il se forma un peu d'un précipité grisâtre que je considérai comme du fluosilicate d'argent. Le liquide neutre fut filtré par du papier, dans un petit entonnoir de platine, puisque j'avais trouvé qu'il attaque le verre et qu'il dépose alors le précipité grisâtre dont je viens de parler. Le liquide fut ensuite évaporé et la masse chauffée à rouge. Elle se fondit et continua toujours à dégager du gaz acide fluorique et du gaz oxigène, en déposant de l'argent métallique. Ce phénomène continua aussi long-temps que le

fluate resta au feu, et j'ai lieu de croire qu'il n'est point dû à la présence de l'eau.

4.936 gr. de fluate d'argent fondu laissèrent, en se dissolvant dans l'eau, 0.185 gr. d'argent métallique. Le liquide précipité par du muriate d'ammoniaque produisit du muriate d'argent, qui, après avoir été fondu, pesait 5,349 gr., c'est-à-dire que 100 p. de fluate d'argent avaient donné 112.587 p. de muriate d'argent.

9.922 gr. de fluate d'argent fondu, redissous par l'eau, laissèrent 0.376 gr. d'argent métallique, et donnèrent 10.7465 gr. de muriate d'argent : ces deux nombres sont comme 100 : 112.57.

Ces deux expériences coïncident donc aussi près que possible. D'après elles, 100 p. d'acide fluorique se combinent avec 1021.8 p. d'oxide d'argent, dont l'oxigène est 70.4, qui, dans ce cas, devraient être le nombre qui représente la capacité de saturation de l'acide fluorique.

Fluate de baryte. Une portion de fluate de soude légèrement acide fut évaporée à sec et légèrement chauffée, sans cependant être poussée à rouge, après quoi on la fit redissoudre par de l'eau, qui laissa une petite trace de silice non dissoute. On mêla cette solution avec du muriate de baryte. Le précipité pris sur un filtre et lavé, parut se dissoudre dans l'eau, quoique dans une quantité très-petite, de manière que l'eau de lavage ne cessa jamais de précipiter avec l'acide sulfurique. Enfin, ayant fait passer sur le précipité une quantité d'eau qui, dans toute autre occasion, aurait suffi pour le laver parfaitement, je fis dissoudre une petite quantité du précipité par de l'acide nitrique. J'y versai quelques gouttes de nitrate d'argent, qui en précipitèrent du muriate d'argent

en abondance. Il paraît donc que le précipité formé par l'addition du fluate de soude au muriate de baryte est un sel double composé d'une seule base et de deux acides. Je ne l'ai point examiné de plus près ; pour le moment, je me suis contenté de m'être aperçu qu'il ne pouvait point être employé pour le but que je m'étais proposé.

Pour avoir du fluate de baryte pur, je me suis servi d'une solution de nitrate de baryte que j'ai versée dans une solution de fluate de soude, en observant que toute la quantité d'acide fluorique n'en fût point précipitée. Le précipité, lavé, séché et exposé au feu, exhala de l'acide fluorique sans trace d'odeur nitreuse. Il fallut faire rougir le sel à plusieurs reprises avant qu'il cessât de perdre en poids. Cette circonstance aurait bien mérité un examen plus particulier, si le nombre des expériences nécessaires pour le but que je m'étais proposé ne m'eût point défendu de toucher à tout ce qui pouvait donner une autre direction à mon travail.

6 gr. de ce fluate de baryte long-temps exposé au feu ont été décomposés par de l'acide sulfurique, et ont produit 7.968 gr. de fluate de baryte. D'après cette expérience, 100 p. d'acide fluorique ont été combinées avec 697.7 p. de baryte, dont l'oxigène est 71 p.

Fluate de chaux. Je choisis un bel échantillon de fluate de chaux du Derbyshire, formant un gros cristal transparent et incolore, que je considérai comme suffisamment pur pour mériter d'être analysé. Je le réduisis en poudre sur une plaque de pierre à fusil, et je lévigeai la poudre avec un grand soin, de manière qu'elle fût parfaitement impalpable.

10 gr. de cette poudre, chauffés à quelques degrés au-dessus de +100°, furent exposés dans un creuset de platine, à une chaleur qui commençait à rougir sans que le poids en fût altéré. Je l'exposai ensuite à un feu rouge pour quelque temps, mais sans qu'elle perdît rien de son poids. Il s'ensuit donc qu'après que l'eau mécaniquement adhérente à la poudre a été évaporée, le fluate de chaux n'a plus subi d'altération par le feu. Je mêlai ensuite la poudre avec de l'acide sulfurique pur, en me servant d'une cuiller de platine dont le poids était déterminé avec celui du creuset. Le premier effet de l'action de l'acide sulfurique fut que la masse augmenta considérablement de volume, et devint gélatineuse et demi-transparente, comme par une dissolution dans l'acide sans décomposition. Il n'en résulta aucune effervescence. A une température plus élevée, la masse commença à exhaler des vapeurs d'acide fluorique en abondance, devint blanche et perdit sa translucidité à mesure que l'acide fluorique se dégageait. Le sulfate de chaux fut ensuite exposé à un feu rouge pour en chasser l'excès d'acide sulfurique. Il était blanc comme la neige et pesait 17g.363. J'y ajoutai ensuite une nouvelle quantité d'acide sulfurique que je laissai digérer pendant quelques heures avec le sulfate, et l'excès d'acide fut ensuite entièrement volatilisé par le feu. Le sulfate de chaux n'avait absolument rien gagné en poids.

10 gr. de fluate de chaux traités de même produisirent, dans une seconde expérience, 17g.368 de sulfate de chaux poussés à un feu rouge. D'après ces expériences, le fluate de chaux est donc composé de :

Acide fluorique,	27.863	100.0;
Chaux,	72.137	258.9.

Les 258.9 p. de chaux contiennent 72.7815 p. d'oxigène, lesquelles par conséquent doivent représenter la vraie capacité de saturation de l'acide fluorique.

En examinant ces expériences, on trouve que tant les inexactitudes dans la méthode d'opérer, que les substances étrangères dans le fluate de chaux doivent toutes concourir à rendre la quantité du sulfate de chaux obtenu plus petite, et qu'aucune autre circonstance, excepté l'impureté de l'acide sulfurique, n'aurait pu augmenter la quantité obtenue du sulfate de chaux. Pour vérifier ce point, je fis évaporer dans un creuset de platine 150 gr. de l'acide sulfurique employé; mais le poids du creuset n'en fut point altéré. Il est donc bien évident que l'analyse du fluate de chaux a donné un résultat plus exact que celles des autres fluates dont il a été question plus haut. La circonstance que le fluate de chaux devient transparent et paraît se combiner sans décomposition avec l'acide sulfurique froid doit être un garant de l'absence de la silice, puisque la plus petite trace de cette terre détermine sur-le-champ un dégagement de gaz silico-fluorique qui se manifeste avec une plus ou moins vive effervescence, laquelle quelquefois fait que la masse déborde le vaisseau dans lequel on fait le mélange. Il paraît bien probable que la raison pourquoi les fluates artificiels ont donné le rapport de l'acide à la base plus grand que le fluate de chaux, doit être attribuée à une petite quantité de silice qui n'a point pu en être

entièrement séparée, et qui, dans l'expérience analytique, a suivi l'acide fluorique.

Lorsqu'on cherche à déterminer, d'après la capacité de saturation de cet acide, quelle doit être la quantité d'oxigène qu'il contient, en le considérant comme un acide avec oxigène dont on n'est point encore parvenu à isoler avec assez de certitude le radical combustible, il est bien clair que cet acide ne peut contenir qu'une quantité d'oxigène égale à celle contenue dans la base. Dans ce cas, l'acide fluorique sera composé de :

Fluore,	27.22	100.00 ;
Oxigène,	72.78	262.84.

(*La suite au prochain Cahier, page 225.*)

Des *Marais Pontins*.

Par M. de Prony (1).

(Extrait par M. Navier.)

Cet ouvrage, qui offre un grand exemple de l'application des sciences aux objets d'utilité publique, doit appeler et fixer l'attention sous plusieurs rapports. Les littérateurs et les érudits y trouveront les souvenirs poétiques et historiques attachés aux lieux qu'occupent les marais Pontins ou qui les avoisinent. Les géologues

---

(1) Paris, de l'Imprimerie royale. 1818. Un vol. in-4° de 650 pages.

et les naturalistes, la constitution physique d'une des contrées les plus célèbres et les plus remarquables de l'Europe, et les modifications que cette contrée a éprouvées successivement par l'action des forces de la nature et des forces de l'homme. Les physiciens, l'exposition des phénomènes météorologiques particuliers au climat et au pays, et des lois qui y règlent, à la surface et dans l'intérieur de la terre, la distribution et l'écoulement des eaux. Enfin, les personnes chargées de diriger de grands travaux hydrauliques, pour lesquelles ce travail forme spécialement un sujet d'étude d'une haute importance, les véritables notions théoriques d'après lesquelles le système des ouvrages destinés à opérer un desséchement doit être combiné. Ces notions, développées pour la première fois, se trouvent appliquées au plus vaste ensemble des travaux de ce genre; à celui de tous qui offre les plus grandes difficultés, soit par la complication des circonstances naturelles, soit par suite de travaux anciens demeurés imparfaits, ou qui avaient été conçus d'après des vues fausses ou systématiques.

Comme on n'en a tiré qu'un très-petit nombre d'exemplaires, et que cet ouvrage ne peut, pour le moment, recevoir une aussi grande publicité qu'il serait à desirer, on a cru devoir en donner un extrait étendu, et accompagné d'une carte qui offre des détails suffisans pour le rendre intelligible.

L'ouvrage est précédé d'un discours préliminaire qui présente une idée sommaire des opérations faites par M. de Prony, de l'état dans lequel il a trouvé les marais Pontins, des notions théoriques et expérimentales sur lesquelles sont fondés les moyens de desséchement qu'il

propose, et de ces moyens eux-mêmes. Le texte offre les divisions suivantes :

Introduction. Considérations et règles générales applicables aux grands desséchemens.

1re *Section.* Précis géographique, géologique et historique. — Description et mesure du bassin Pontin considéré dans son ensemble, et des bassins particuliers qui le composent. — Système général des torrens, fleuves et canaux qui coulent dans les marais Pontins. — Mesure des quantités d'eau que fournissent ces fleuves et canaux. — Relief du sol Pontin.

2me *Section.* Etat où se trouvaient les marais Pontins en l'année 1777, avant le commencement des travaux exécutés par ordre du pape Pie VI. — Description historique et critique de ces travaux.

3me *Section.* Situation actuelle (août 1811) des marais Pontins, considérés sous le point de vue de l'état plus ou moins marécageux des diverses parties du sol, et de la liaison de cet état avec les travaux exécutés. — Cadastre, agriculture, commerce, population. — Détails relatifs à l'entretien des canaux. — Analyse des projets principaux qu'on a formés (avant l'année 1811) pour la bonification ultérieure des marais Pontins.

4me *Section.* Projets pour le desséchement complet et la bonification ultérieure des marais Pontins.

Introduction.

1. *Distribution des eaux pluviales. Effets résultans des proportions diverses suivant lesquelles cette distribution s'effectue.* Les eaux pluviales tombant sur un terrain

lonné se partagent en général en trois parties : l'une etourne dans l'atmosphère par l'évaporation; une autre coule à la surface du terrain, et va se rendre dans le lit les torrens et ruisseaux; la troisième s'infiltre jusqu'à ce qu'elle rencontre des couches imperméables, en suit les pentes, et forme des sources dans des points situés plus bas.

Les proportions suivant lesquelles ce partage s'effectue varient beaucoup suivant la nature du sol, et surtout suivant l'état de la végétation. Les eaux d'infiltration sont très-considérables si le terrain est bien garni de plantes. Dans le cas contraire, et surtout quand les pentes sont rapides, la plus grande partie des eaux s'évapore ou coule en torrens. Alors les sources pérennes sont très-faibles ou nulles, et le sol offre la réunion de deux inconvéniens opposés, une sécheresse extrême en certaines saisons, et de grandes inondations dans d'autres. Ces considérations rendent très-sensibles les inconvéniens des grands défrichemens et de la destruction des forêts. M. de Prony indique les modifications fâcheuses dont ces opérations ont été suivies dans le bassin du Pô.

2. *Division des eaux d'inondation en deux classes. Tracé des canaux destinés à évacuer les eaux intérieures.* On peut se former une idée générale d'un terrain à dessécher, en se le représentant comme le fond d'un grand bassin d'une étendue beaucoup plus considérable que la sienne. Dans ce fond se rassemblent des eaux qui n'ont pas toutes la même origine : les unes *appartiennent au sol*, c'est-à-dire qu'elles proviennent des pluies qu'il reçoit ou des sources qui y surgissent; les autres y descendent des terrains environnans. Il s'agit de

leur procurer à toutes des moyens d'écoulement, et de les empêcher de séjourner sur la surface du terrain.

La première chose à faire pour y parvenir est la détermination sur cette surface d'une ligne que M. de Prony nomme *axe principal d'écoulement*. On s'en formera l'idée, en la considérant comme la direction dans laquelle les eaux supposées répandues sur le terrain tendraient à se rassembler en plus grande abondance, et à couler avec plus de rapidité. En général, c'est dans l'axe principal d'écoulement que se trouve le point le plus bas des sections faites dans le terrain transversalement à cet axe. Il peut d'ailleurs, dans des cas particuliers, être multiple (1).

---

(1) La ligne remarquable tracée sur la surface du terrain, que M. de Prony nomme *axe principal d'ecoulement*, a été appelée *thalwegh* dans l'intéressant Mémoire de MM. Dupuis de Torcy et Brisson, publié dans le tome VII du *Jonrnal de l'Ecole Polytechnique*. Cette ligne jouit de plusieurs propriétés géométriques curieuses, indiquées en partie dans ce Mémoire.

Concevons la surface du terrain coupée par une suite de plans horizontaux de plus en plus élevés. Supposons qu'on marque sur les sections ainsi formées les points où leur courbure est un *maximum*, lesquels seront aussi ceux où la distance mutuelle des sections est un *maximum*. La suite de ces points appartiendra nécessairement ou à un *thalwegh*, c'est-à-dire à une ligne dans laquelle les eaux se rassemblent; ou à un *faîte*, c'est-à-dire à une ligne dont les eaux s'écartent pour couler des deux côtés opposés. On distinguera un faîte d'un thalwegh en ce que, dans le premier, les sections horizontales ont leur convexité tournée vers le côté de

Cette ligne, ainsi définie, marque la direction d'un *canal central* ayant pour objet exclusif l'écoulement des eaux appartenant au sol à dessécher. On ne doit point introduire dans ce canal les eaux provenant des terrains environnans, ordinairement chargées de dépôts, et qui tendraient à l'attérir et à soutenir son niveau à une trop grande hauteur. Il faut seulement y recevoir une petite quantité d'eaux claires perennes, dans l'unique but d'y former un corps d'eau suffisant pour entretenir en toute saison le lit en bon état, et pour servir de véhicule aux

---

la surface qui s'abaisse, tandis que, dans le second, elle est tournée vers le côté qui s'élève.

Supposons ensuite tracées sur la surface du terrain ses lignes de plus grande pente, c'est-à-dire des lignes constamment normales aux sections horizontales dont on vient de parler : elles se trouveront divisées en divers systèmes par les faîtes et les thalweghs. En suivant indéfiniment le cours d'une même ligne de plus grande pente, on reconnaîtra que chaque portion de cette ligne, comprise entre un faîte et un thalwegh consécutifs, forme une branche séparée des deux branches adjacentes par un point de rebroussement. Les faîtes et les thalweghs sont donc le lieu des points de rebroussement des lignes de plus grande pente. Ils passent en ces points entre les deux branches de ces lignes, et leur sont tangens. Ils sont eux-mêmes au nombre des lignes de plus grande pente : mais ce sont des lignes singulières, qui forment une sorte d'enveloppe pour les systèmes de lignes ordinaires qu'ils séparent. On distingue un faîte d'un thalwegh en ce que, dans le premier, la pointe formée par le rebroussement des lignes de plus grande pente est tournée vers le haut, et qu'elle est tournée vers le bas dans le second.

eaux pluviales immédiatement fournies par la surface marécageuse.

3. Le canal central étant établi, on amènera ces dernières eaux dans son lit au moyen de *fosses auxiliaires longitudinales*, tracées suivant des directions peu inclinées entre elles et au canal central. Ces fosses recevront ensuite l'embouchure d'autres fosses d'un ordre inférieur ; mais M. de Prony considère ces dernières comme devant être laissées à la charge des propriétaires, l'administration publique devant se borner, en général, au système du canal central et des fosses auxiliaires.

La détermination du point où l'on fera déboucher une fosse auxiliaire dans le canal est un objet délicat, dans lequel il faut prendre en considération les remoux que le confluent occasionnera en amont. Le point le plus bas auquel on puisse conduire une fosse auxiliaire ne donne pas toujours, comme on pourrait d'abord le penser, l'écoulement le mieux conditionné. En supposant une fosse parallèle au canal central, et qu'on veut la détourner de sa direction pour la faire aboutir à ce canal en suivant la ligne de plus grande pente, on déterminera, par la règle suivante, la direction de cette ligne. Nommant p la pente sur l'unité de longueur de la ligne de plus courte distance entre le point de dérivation de la fosse et l'axe du canal ;

P la pente sur l'unité de longueur du canal ;

α l'angle que la dérivation doit former avec la ligne de plus courte distance,

On a tang. $\alpha = \frac{P}{p}$.

Considérant ensuite le cas où le canal et la fosse auxi-

re ayant toujours des directions parallèles, il serait essaire de conduire au canal une partie des eaux de osse, au moyen d'une fosse de dérivation à-peu-près pendiculaire aux deux canaux, et remarquant que les s de ces canaux, quoique compris dans des plans ticaux parallèles, ne le sont pourtant point en gé-ral, parce qu'ils ont des pentes différentes, M. de ony observe qu'on obtiendra une pente d'autant plus nde pour la fosse de dérivation, qu'on l'éloignera vantage de la ligne horizontale mesurant la plus courte stance des deux axes. La dérivation doit être placée en nont ou en aval de cette ligne, suivant que la pente de ffluent est plus grande ou plus petite que celle du réci-ent. Si ces deux pentes sont égales, l'emplacement de fosse de dérivation est arbitraire, ou ne dépend que s circonstances locales.

4. Pour déterminer les dimensions du canal central de ses fosses auxiliaires, il faut connaître la quantité 'eau qu'elles doivent recueillir. On y parvient au moyen 'observations annuelles sur la hauteur des eaux plu-iales, faites sur les lieux mêmes ou dans des lieux oisins. On établit les dimensions des canaux d'après la uantité d'eau qui peut tomber dans un jour *pluvieux*, t le temps que, d'après la déclivité du terrain et d'autres irconstances locales, cette eau doit employer à se endre dans les canaux. Il faut avoir égard, dans la létermination de ces élémens, aux effets de l'évapora-tion et de l'infiltration, qui enlèvent une partie plus ou moins considérable des eaux. Elle doit être fondée d'ailleurs sur des résultats moyens, et l'on pourra être obligé de ne point prendre en considération certains

cas rares où la quantité de pluie a excédé ses limites ordinaires, sauf à disposer les ouvrages pour que ces cas ne puissent donner lieu à des dégradations fâcheuses. Dans les circonstances communes, l'eau doit être maintenue dans les canaux et fosses d'écoulement, au-dessous des terrains environnans, à une hauteur qui dépend un peu de la nature de leur culture, et qui doit être de $0^{m},5$ au moins pour les terres ensemencées en blé, avoine, maïs, etc.

5. Le canal central aboutit naturellement, à son extrémité inférieure, au point le plus bas du terrain à dessécher. Si l'axe d'écoulement est multiple, ses diverses branches viendront toutes se rendre à ce point. Là, il faut nécessairement procurer aux eaux, soit à ciel ouvert, soit sous terre, une issue hors de leur bassin.

6. *Directions à donner aux eaux courantes provenant des parties du bassin général élevées au-dessus de la partie inondée.* A l'égard des eaux étrangères provenant des terrains environnans ceux qu'il s'agit de dessécher, eaux qui, dans l'état naturel, divaguent ordinairement sur ce terrain, et s'y extravasent avant de se rassembler dans ses points les plus bas, le seul parti à prendre est, en général, de leur en refuser l'entrée, en les contenant dans des canaux d'enceinte. Ces canaux doivent aboutir, ou dans des points du périmètre général différens de celui où se termine le canal central, ou plutôt dans ce canal même, mais aussi près de son issue qu'il est possible. On suppose que l'on a préalablement prélevé sur ces eaux celles nécessaires pour maintenir en bon état le canal central (2).

Si l'on ne prend point ce parti, les eaux étrangères produisent les effets les plus fâcheux. Quand elles sont

claires, elles encombrent les canaux et fosses d'écoulement, en compliquent le système, et obligent à leur donner plus de largeur et de profondeur. Quand elles sont troubles, outre ces inconvéniens, elles remplissent leurs lits par des attérissemens. Il arrive ordinairement, en effet, que les eaux descendant des terrains élevés arrivent sur des pentes rapides, beaucoup plus fortes que celles qu'on peut donner à des lits tracés dans les marais. Les matières qu'elles charrient tendent donc à se déposer à l'entrée de ces lits, et à y former des obstructions dont les suites sont toujours très-dangereuses.

7. *Disposition à donner aux canaux quand la rapidité du terrain ne permet pas que leur pente soit continue.* Il arrivera quelquefois, et ce cas se présente dans les projets proposés pour la bonification des marais Pontins, qu'on ne pourra, à raison de la trop grande déclivité du terrain et d'autres obstacles locaux, développer les canaux d'enceinte de manière à réduire leur pente à ce qu'elle doit être pour remplir certaines conditions auxquelles on est d'ailleurs assujetti. M. de Prony propose, dans ce cas de partager les lits des canaux en plusieurs portions séparées par des chutes, qui seraient espacées à 2000^m au moins, afin qu'un régime régulier pût s'établir dans chaque bief, et qui pourraient avoir 2 à 4^m de hauteur (1). Il observe que cette disposition

---

(1) A l'occasion de ces chutes, l'auteur fait observer que les Italiens n'ont jamais employé les écluses que pour modérer ainsi la pente et la vitesse des courans, et qu'on doit aux Français l'invention des *canaux à point de partage*, qui établissent la communication entre les bassins de deux

offre deux avantages importans : l'un, de faciliter les changemens brusques de direction qui peuvent être placés aux chutes sans inconvénient, tandis que, dans le cas d'une pente continue, ils exigeraient que les berges fussent garanties par des revêtemens; l'autre, de donner les moyens de former, en amont de chaque chute, un réceptacle où les matières entraînées par les courans se déposeraient, et d'où elles seraient facilement enlevées, sans pouvoir alors aller encombrer les parties inférieures des lits.

8. *Comment on peut déterminer les dimensions d'un canal destiné à évacuer les eaux pluviales et coulant en torrent, reçues par un terrain donné.* M. de Prony, d'après diverses considérations dans le développement desquelles on ne peut entrer ici, établit sur ce sujet la règle suivante. Nommant a la surface du terrain qui reçoit les eaux, h le *maximum* de hauteur du prisme d'eau tombée en un jour, $\frac{1}{n}$ la portion du volume d'eau consommée par l'infiltration, t le temps employé par le surplus de l'eau à se réunir en corps suffisant pour produire des effets nuisibles, exprimé en secondes : on a

$$\frac{n-1}{nt}ah$$

pour le volume d'eau à écouler dans une seconde, en supposant que l'écoulement de l'eau se fasse uniformément; hypothèse que M. de Prony croit pouvoir ad-

---

rivières, en traversant le faîte qui les sépare. Le canal de Briare, terminé en 1642, est le premier ouvrage de ce genre qui ait été construit en Europe.

mettre comme très-peu éloignée de la vérité. Les valeurs de h, de $\frac{1}{n}$ et de t, ne peuvent être fixées que d'après une étude approfondie des localités. Celle de h doit être naturellement la hauteur du prisme d'eau fourni par les plus grandes pluies.

9. *Valeurs numériques des quantités qui entrent comme données dans la formule précédente.* D'après les renseignemens recueillis sur les lieux, M. de Prony fait $h = 0^m,06$, valeur qui surpasse un peu la moyenne de celles du 2e tableau de l'art. (31). Il suppose $\frac{1}{n} = \frac{1}{3}$, proportion déjà adoptée par MM. Astolfi et Scaccia. Enfin, il admet, d'après des observations faites sur les inondations des champs de Piscinara, que les eaux emploient $2\frac{1}{3}$ à $2\frac{1}{2}$ jours pour se réunir en corps capables de produire des effets nuisibles, et il fait en conséquence $t = 212000''$. On trouve ainsi en nombres ronds $0,0000002.a$, pour l'évaluation en mètres cubes du volume d'eau à écouler par seconde hors du terrain dont la surface exprimée en mètres carrés est a. Cette règle conduit à des résultats qui s'accordent parfaitement avec toutes les observations recueillies sur les cours d'eau des marais Pontins.

10. *Considérations générales sur la théorie des eaux courantes. Nouveau profil transversal proposé pour les canaux d'écoulement.* L'auteur résume ici les considérations et principes sur lesquels est fondée sa *Théorie physico-mathématique du mouvement des eaux courantes*, ouvrage qu'il a publié en 1804, et les formules qu'il en a déduites. Il cite diverses observations qui ont confirmé pleinement les résultats donnés dans cet ouvrage; résultats qui

étaient d'ailleurs appuyés sur de nombreuses expériences. L'objet principal de ces recherches est d'établir des relations entre la vitesse d'un courant d'eau, la pente et la section transversale de son lit. La figure de cette section est toujours assujettie à des conditions données. L'auteur, observant que les canaux doivent ici remplir le double objet de donner un écoulement constant à une petite quantité d'eaux pérennes, et un écoulement momentané aux eaux fournies accidentellement par les grandes pluies, propose pour leur section transversale une figure particulière, composée d'un grand trapèze, au fond duquel un trapèze plus petit, dont l'aire n'est qu'environ le $\frac{1}{4}$ ou le $\frac{1}{5}$ de l'aire totale, forme une sorte de cunette. La pente des talus est de 3 de base sur 2 de hauteur. Ce profil doit, autant qu'il est possible, être entièrement creusé dans le terrain, et on ne tient pas compte, dans l'évaluation de la section, de l'espace compris entre les levées; espace dans lequel pourront être contenues les eaux fournies par les très-grandes crues, qui n'auraient pu être prises en considération dans la fixation de la section, sans obliger à lui donner de trop fortes dimensions. L'auteur établit les rapports les plus convenables entre les dimensions du profil, qu'il fait toutes dépendre d'une seule, en sorte que le volume d'eau qu'un canal doit écouler, sa pente et sa vitesse étant donnés, la section se trouve fixée par le calcul d'une seule quantité, dont la valeur s'obtient par des formules fort simples.

11. *Considérations sur les phénomènes relatifs au mouvement des eaux près de leurs embouchures.* L'auteur examine la nature du mouvement d'un courant d'eau

dans les parties inférieures de son cours, où le fond de son lit est au-dessous du niveau de la mer. Il déduit des considérations qu'il présente la nécessité de donner à ce fond une pente régulière, et de n'y point laisser de protubérances capables de gêner le mouvement des eaux.

12. *Sur le jaugeage des eaux courantes.* Aux règles qu'il a données pour évaluer la quantité de fluide que doit débiter un canal destiné à recevoir les eaux pluviales d'orage, l'auteur en ajoute d'autres pour l'évaluation du volume d'eau qui coule dans un canal pris dans un état déterminé : elles sont presque entièrement tirées du *Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes*, qu'il a publié en 1802.

13. *Méthode de nivellement trigonométrique.* Les nivellemens exécutés par les moyens ordinaires, c'est-à-dire, par des stations successives formées sur des lignes tracées dans la campagne, étant très-difficiles, et même absolument impossibles pendant la plus grande partie de l'année, dans les marais Pontins, M. de Prony a imaginé, pour y suppléer, une méthode trigonométrique que l'on exposera dans les termes mêmes de l'auteur (1).

---

(1) L'avantage de cette méthode consiste en ce que l'observateur, sans sortir de la même station, peut déterminer les positions et les hauteurs d'un nombre de points arbitraire, dans l'étendue de terrain visible de sa station, soit entre eux, soit par rapport à lui.

Voici le problême fondamental sur lequel son application est fondée : « Etant données les deux longueurs de deux » segmens contigus d'une même ligne droite, et les deux » angles formés par trois droites tirées d'un même point aux

14. *Considérations sur les colmates.* Outre le desséchement par écoulement, il existe deux autres moyens d'assainir un terrain : l'un consiste dans les remblais

---

» extrémités de ces segmens, résoudre les deux triangles qui » ont ce point pour sommet commun et les segmens pour » base. »

Ce problême peut être regardé comme une dépendance de celui qui a pour objet la détermination de la position d'un point par rapport à trois points, dont les positions respectives sont données dans l'espace ; il conduit à des formules beaucoup plus simples et dont j'ai reconnu, par mon expérience, qu'on pouvait tirer, dans la pratique, un parti fort utile.

Soient b' le segment à droite et b'' le segment à gauche de l'observateur placé au sommet des angles donnés ; r', r'' et r''' les distances respectives de l'observateur à l'extrémité droite de la ligne, au point de division des deux segmens, et à l'extrémité gauche de la ligne ; a' l'angle formé par r' et r'', et a'' l'angle formé par r'' et r''' ; on fera

$$b = b' + b'' ; \; a = a' + a'' ;$$

et on calculera d'abord les nombres

$$n = \frac{\sin. a''}{\sin. a'} \cdot \frac{b'}{b''} ; \; m = \sqrt{1 \mp 2n \cos. a + n^2} ;$$

les signes — et +, sous le radical, correspondans respectivement au cas où a est aigu ou obtus ; et l'on aura

$$r' = \frac{n}{m} b ; \; r'' = \frac{\sin. a}{m \sin. a'} b' ; \; r''' = \frac{b}{m} .$$

Tous les côtés et un angle de chaque triangle étant ainsi connus, les angles inconnus se calculent aisément.

Mesurant les distances au zénith des points observés, on a

exécutés à main d'homme; l'autre dans les colmates, procédé très-répandu en Italie, et qui a été traité dans les ouvrages de Guglielmini (*Natura dei fiumi*), de Zen-

---

l'inclinaison de la ligne par rapport à l'horizon, et les différences de niveau entre les points et la station de l'observateur. Je choisissais mes stations dans les marais Pontins de manière à voir toujours l'horizon de la mer; en sorte que je pouvais sur-le-champ déterminer et ma hauteur et celle des points observés par rapport à cet horizon.

Si l'on mesure l'angle compris entre une des extrémités d'un des segmens et un point quelconque pris dans la direction de la droite qui renferme ces segmens, on pourra calculer la position de ce point sans être obligé de connaître, *a priori*, sa distance aux segmens : on aura pour cela à calculer un triangle par un de ces côtés et les deux angles adjacens.

Enfin, mesurant autant de bases, chacune divisée en deux segmens, qu'il sera nécessaire, et liant ces bases deux à deux par des angles dont chacun ait ses côtés correspondans à deux bases différentes, on fait d'une même station la carte et le nivellement du pays visible de cette station.

Lorsque la ligne observée est verticale, on n'a plus besoin de connaître deux longueurs : une seule suffit, et le calcul des formules devient plus simple. Voici les valeurs relatives à ce cas, qui peut avoir des applications utiles.

Supposons d'abord que la longueur donnée b'' soit toute entière d'un même côté, par rapport à l'horizontale passant par l'œil de l'observateur; comme b' n'entre point dans le calcul, rien n'empêche de supposer r' horizontale; et a', a'' seront tous les deux, ou des angles d'élévation, ou des angles de dépression. On aura

drini (*Leggi e fenomeni dell' acque correnti*), de Fossombroni (*Memorie idrauliche sopra la val di Chiana*); etc. M. de Prony observe que le succès de la méthode

---

$$r' = \frac{b'' \cos. a' \cos. a}{\sin. a''}; \; r'' = \frac{b'' \cos. a}{\sin. a''}; \; r''' = \frac{b'' \cos. a'}{\sin. a''}.$$

Supposons ensuite que l'horizontale, passant par l'œil de l'observateur, rencontre la verticale observée, la longueur b de cette verticale entrant seule dans le calcul, rien n'empêche de supposer r'' horizontale : des deux angles a' et a'', l'un sera d'élévation, et l'autre de dépression, par rapport à l'horizon, et on aura

$$r' = \frac{b \cos. a''}{\sin. a}; \; r'' = \frac{b \cos. a' \cos. a''}{\sin. a}; \; r''' = \frac{b \cos. a'}{\sin. a}.$$

φ étant l'angle d'élévation ou de dépression, par rapport à l'horizon, d'un point quelconque pris sur la direction de la verticale b, et h la différence de niveau entre ce point et l'horizontale r'', on aura :

$$h = \frac{b \cos. a' \cos. a''}{\sin. a} \operatorname{tang}. \varphi \ldots \text{(A)}.$$

Il est bien entendu que, dans tous les calculs fondés sur les formules précédentes, il faut avoir l'égard convenable à la réfraction terrestre.

J'ai fait les dispositions nécessaires pour appliquer un procédé auquel la formule (A) se rapporte, à un nivellement des douelles des clefs des ponts de la Seine, dans la traversée de Paris. Cette opération, qui n'a jamais été faite, ne serait pas sans embarras si l'on voulait y employer les méthodes ordinaires.

(Cette note est extraite textuellement de l'ouvrage de M. de Prony).

des colmates tient à deux circonstances : l'une est la quantité de dépôts dont les eaux sont chargées, quantité dont leur coloration n'est pas toujours un indice certain ; l'autre est la promptitude avec laquelle on renouvelle les eaux sur la surface du terrain à colmater, en donnant entrée aux eaux limoneuses, et les expulsant aussitôt qu'elles se sont clarifiées.

Il remarque que le système établi pour l'écoulement, d'après les principes des art. 2 et suiv., remplit éminemment cette dernière condition, et qu'il suffirait seulement de le compléter par des ouvrages qui permettraient de prendre les eaux troubles dans les canaux d'enceinte pour les introduire dans les diverses parties des terrains bas, et de faire ensuite écouler ces mêmes eaux, après qu'elles auraient déposé, par les fosses auxiliaires longitudinales et le canal central, à la disposition desquels il n'y aurait absolument rien à changer.

PREMIÈRE SECTION.

15. *Précis géographique et géologique.* Les marais Pontins comprennent la partie de la campagne de Rome ou de l'ancien *Latium* située au sud-est de Rome, sur les confins du territoire napolitain. Leur longueur est d'environ 42000^{m}, depuis le territoire de Cisterna jusqu'à Terracine. Leur largeur est beaucoup moindre. Leur axe se confond avec la direction de l'ancienne voie Appia, sur laquelle est établie la route moderne, entre Cisterna et Terracine. La distance de cette dernière ville, qui forme l'extrémité sud-est des marais Pontins, à celle de Rome, comptée depuis la maison dite *de la Bonification* à Terracine, jusqu'à la porte Saint-Sébastien à

Rome, est en ligne droite de 90442^{m} ; en suivant l'ancienne voie Appia, de 62,427 milles antiques, dont chacun vaut 1471^{m},2 ; et en suivant la route moderne, de 67,889 milles modernes, dont chacun vaut 1489^{m},5.

Le bassin des marais Pontins est limité, au nord-ouest, par la chaine des monts calcaires connue sous le nom de *mont Lepine*, qui se termine sur le bord de la mer à Terracine, et passant par Cori, Rocca-Massima, Monte-Fortino, etc., va rejoindre près de Velletri un autre groupe de monts, dont l'*Artemise* est un des principaux. Le col qui sépare ces deux groupes est recouvert par la couche volcanique qui occupe une grande partie de la campagne de Rome. Au sud-ouest, les marais sont séparés de la mer par une élévation formée par un terrain d'alluvion, et par une ligne de dunes au-delà de laquelle est une suite de lacs qui présentement s'attérissent, et qui sont séparés de la mer par une seconde ligne de dunes naissantes. Le mont Circeo, dont le noyau est un calcaire primitif, élevé de 525^{m} au-dessus du niveau de la mer, est le point le plus remarquable du rivage, qu'il protége contre l'action des vagues, et qu'il domine au loin.

Ce mont a dû être autrefois isolé au milieu de la mer. Des sondes faites au pied des montagnes de Sezze et de Piperno, à 16000^{m} du rivage, et 17^{m} au-dessous du niveau actuel de la mer, ont donné du sable marin, des coquillages et des débris de plantes marines. D'autres sondes, sur des points plus rapprochés du Circeo, ont donné les mêmes matières à de moindres profondeurs. Le sol des marais Pontins a donc formé un golfe où les vaisseaux pouvaient pénétrer, et dont le fond, dirigé sur

une pente douce à partir du mont Circeo, se relevait subitement au pied des montagnes. Des bas-fonds en ont facilité l'attérissement, et favorisé la formation des dunes qui séparent à présent de la mer ses faces occidentales et méridionales. Cet attérissement a été principalement produit par les dépôts entraînés par les torrens qui descendent des montagnes. L'étendue et l'épaisseur du sol tourbeux qu'on rencontre dans la plaine montre d'ailleurs que l'attérissement a été puissamment favorisé par la végétation, qui est très-active. On trouve dans beaucoup d'endroits, à moins d'un mètre sous la tourbe, une couche de matières dures et pierreuses, que M. de Prony croit être formée des concrétions de plusieurs sources d'eaux très-gazeuses qui surgissent au pied des monts. Ces dépôts ont offert d'assez grands obstacles au creusement des canaux.

16. *Précis historique*. Le sol Pontin et sa continuation au nord-ouest sont une terre classique. Ils forment le théâtre des scènes décrites dans les derniers livres de l'Enéide. On croit retrouver, dans le mont Circeo, l'île de Circé. L'eau de la fontaine Feronia, chantée par Horace, coule encore auprès de Terracine.

Les premiers habitans de ce pays sur lesquels on ait des notions assurées, sont les Volsques, dont il paraît que la division en petites républiques confédérées facilita aux Romains l'assujettissement. On pense qu'avant cette époque le sol des marais Pontins était très-peuplé, sain et en état de culture. On n'est point assuré qu'il en fût de même lors de la construction de la célèbre voie Appia par le consul Appius Claudius, l'an 442 de Rome. Mais on sait que 140 ans après, le consul Cornélius Céthégus en exécuta ou en entreprit le desséchement. La mort de

César l'empêcha d'exécuter les projets qu'il avait formés pour cet objet. Ils furent repris par Auguste, et l'on suppose qu'il avait creusé ou rétabli un canal navigable le long de la voie Appia. On lui attribue aussi un autre canal qui existe encore aujourd'hui, et qui, passant au pied du Circeo, se dirige sur le bord de la mer, du côté de Terracine.

On voit, au nord et à l'ouest des marais, deux excavations remarquables qui n'ont pu avoir d'autre objet que leur desséchement. L'une est la tranchée de *Gorgo-Leccino,* qui devait conduire les eaux de la partie supérieure hors du bassin des marais, du côté de *Foce verde.* L'autre est le *Rio-Martino,* dont la situation est plus rapprochée du centre des marais. On ignore l'époque de la construction de ces canaux; le dernier est de beaucoup antérieur au pape Martin, à qui on l'a faussement attribué.

Nerva, et surtout Trajan, ont fait des travaux sur la voie Appia; mais on ne retrouve aucune trace d'entreprises relatives au desséchement, jusqu'à celle du Patrice Décius, sous le règne de Théodoric. Elle eut, si l'on s'en rapporte à des inscriptions qui existent encore à Terracine, un succès complet. Mais cet avantage ne put être long-temps conservé, et l'état des marais Pontins donna lieu, sous les papes, à de nouveaux travaux, parmi lesquels on doit distinguer ceux de Léon X, de Sixte V, et surtout de Pie VI. Le premier fit exécuter au commencement du 16me siècle, sous la direction de Jules de Médicis, par l'ingénieur Jean Scotti, le *Portatore di Badino,* qui forme le principal et presque l'unique débouché à la mer des eaux qui se rassemblent dans les

marais Pontins. On doit au second le *Fiume Sisto*, canal d'enceinte exécuté, vers 1588, par Ascanio Fenizi. Le troisième enfin a fait exécuter, dans le cours du 18me siècle, des travaux très-considérables qui ont entièrement changé l'état des marais Pontins, et sur lesquels on trouvera plus loin des détails.

17. *Périmètre du bassin général des marais Pontins.* Un coup-d'œil sur la carte fera reconnaître les limites de ce bassin. La ville de Terracine, voisine de son extrémité méridionale, en est le point le plus remarquable. Près de cette ville commence la chaîne des monts calcaires, qui le séparent à l'ouest du bassin du lac de Fondi ; au nord-ouest du bassin du Sacco, rivière qui, réunie au Liri, forme le Garigliano, et se jette dans la mer près des ruines de Minturne. Cette chaîne se dirige vers le sud avant d'arriver à Velletri, et laissant cette ville en dehors du bassin, vient se réunir, au midi de Cisterna, au sol d'alluvion et à la ligne de dunes qui séparent ce bassin de la mer.

Cette ligne de dunes prend son origine à Terracine. Elle suit le rivage, à partir de cette ville jusqu'à la tour d'Olevola, à une distance qui ne surpasse point 400^{m}. Elle est traversée dans cette partie par le Portatore di Badino, émissaire général des eaux des marais Pontins. A partir de la tour d'Olevola, la ligne de dunes s'infléchit vers le nord-ouest, se dirige d'abord parallèlement au rivage, à 4000 ou 4500^{m} de distance, puis, au-delà du lac de Fogliano, s'infléchit de nouveau au nord pour se rattacher à l'extrémité de la chaîne calcaire. Le Circeo est placé près de l'angle formé par les lignes de dunes, à la tour d'Olevola.

Ces dunes, comme on l'a déjà dit (2), ont été coupées à mains d'hommes par deux excavations, l'une nommée *Rio-Martino*, l'autre *Gorgo-Leccino*. Ces deux excavations ne remplissent point à présent leur objet probable, et ne fournissent presque aucun écoulement aux eaux intérieures.

18. *Bassins particuliers.* En commençant à partir de Terracine, on trouve, 1°. le *bassin du canal de Terracine*, dont le canal du même nom reçoit les eaux. Son principal cours d'eau et le Fosso della Tentarecchia, qui entre dans le canal, en traversant la voie Appia sous le pont de Gianni. A partir de ce pont, les eaux du canal se partagent : une partie coule vers la mer, où elles débouchent au travers de l'antique port comblé de Terracine. Une autre partie coule en sens opposé, et se rend dans le Portatore di Badino. La surface du bassin est de 5519,43 hectares.

2°. Le bassin de la Pedicata, petite rivière qui se jette dans la branche du canal de Terracine qui se rend au Portatore : surface, 871^{h},54.

3°. Le bassin de la Scaravazza, qui prend son origine très-près du cours de l'Amazeno, traverse la portion de marais appelée *Tenuta Pio*, et, se réunissant à l'Amazeno et à l'Uffente, traverse sous le Ponte Maggiore la voie Appia, et se jette dans la ligne Pio, canal tracé le long de cette voie. Surface du bassin, 2966^{h},80.

4°. Le bassin de l'Amazeno, le plus grand de ceux qui versent dans les marais Pontins. Les principales sources sont à S. Lorenzo. Elles sont claires; mais le torrent de Vallefratta amène des troubles dans l'Amazeno. Après être sorti de son bassin par la gorge de *Fossa*

Nova, cette rivière se rend dans le *Pantano d'Inferno*, partie basse des marais, où on l'a jetée pour y faire des colmates. Ses eaux s'écoulent ensuite par le Ponte Maggiore. Surface du bassin, 35671^h,64.

5°. Le bassin du torrent de Ceriara, dont les eaux se rendent dans l'Uffente par la fosse de Mortola : surface, 3088^h,76.

6°. Entre ces bassins et les marais sont compris les terrains d'où sortent les sources de l'Uffente, dont la surface est de 4132^h,71.

7°. Le bassin du Brivolco, qui contourne la montagne de Sezze, et réunit ses eaux à celles de l'Uffente : surface, 3352^h,37.

8°. Celui du Fosso Venereo, dont les eaux s'écoulent dans la Selcella, et de là dans la Schiazza : surface, 480^h.

9°. Celui du Fosso di Basciano, qui s'écoule dans la Cavata : surface, 491^h,82.

10°. Entre les marais et les trois bassins précédens est compris un espace de 2907^h,68.

11°. Le bassin du Fosso di Sermoneta. Ce torrent reçoit le Fosso dell' Abadia. Ses eaux, après avoir divagué dans la campagne, entrent dans la Cavata, près de Montecchio : surface, 5551^h,34.

12°. Le bassin de la Tepia, le plus étendu après celui de l'Amazeno. Il comprend le cours de la Ninfa et celui de la Tepia. Leurs eaux se réunissent au pont de S. Fecitola, pour former le Rio-Francesco. Surface, 19550^{h}37.

13°. Celui des torrens de Cisterna, Giunco et Maschero. Leurs eaux parviennent aussi au pont de S. Fecitola. Surface, 14288^h,45.

14°. Bassin du Rio Francesco. Ses eaux se rendent dans le canal de ce nom, qui est un prolongement du Fiume Sisto, à l'exception toutefois d'une très-petite partie qui coule au-delà des dunes par le Rio Martino: surface, 4000^h,42.

15°. Enfin, le bassin du Fiume Sisto, situé au-dessous du précédent, et dont les principales eaux sont fournies par le Cavo d'Augusto : surface, 7764^h,63.

La somme des surfaces de ces bassins est de	110637^h,96.
En y ajoutant la surface des terrains constamment couverts d'eau avant 1777, déclarés, à cette époque, propriété du Gouvernement, et cédés depuis en emphytéose à divers particuliers, qui est de	19623,11
On aura, pour l'aire totale du bassin des marais Pontins	130261,07.

A l'entour des terrains constamment couverts d'eau, il existait une lisière plus ou moins sujette aux inondations, comprise dans l'évaluation des bassins particuliers, et dont la surface était de 10706^h,14. On l'a laissée aux propriétaires, en leur faisant seulement payer une contribution plus ou moins forte, en raison de la bonification que leur terrain avait éprouvée. C'est ce qu'on nomme les contribuans de 1re et 2me classe.

19. *Système général des fleuves et canaux qui coulent dans les marais Pontins.* Les eaux qui se rassemblent dans ces marais s'écoulent à la mer par deux embouchures, le canal de Terracine et le Portatore di Badino. On décrira les canaux qui les y amènent en remontant de ces embouchures vers les sources.

Le canal de Terracine a été construit en 1789 pour établir la communication entre la navigation intérieure des marais Pontins et la mer. Sa longueur est de 8242^{m}, dont 5392^{m} depuis la mer jusqu'au point de partage situé au point de Gianni (18), et 2850^{m} de ce point à l'extrémité de la ligne Pio, formant l'origine du Portatore. Le partage des eaux cesse d'avoir lieu lorsque celles du Portatore s'élèvent. Alors le canal de Terracine a toute sa pente dans le même sens, depuis son origine jusqu'à la mer. La plus grande partie de ce canal est creusée le long de la nouvelle route établie par Pie VI, en prolongement du grand alignement de l'ancienne voie Appia, et pour remplacer le tracé antique de cette route que les Romains avaient reculé, dans cette partie, au pied des montagnes. Ce changement n'a point réussi : la route, établie sur un mauvais sol, offre des affaissemens, et même des déversemens horizontaux très-remarquables. Le canal débouche à la mer par des ouvertures pratiquées dans l'ancienne enceinte en maçonnerie du port de Terracine, et un lit creusé au travers de l'attérissement dont ce port antique est comblé. Ces ouvertures n'ont qu'une faible profondeur, à peine suffisante pour le passage des barques qui fréquentent les canaux des marais.

La branche du canal de Terracine qui coule vers le Portatore reçoit la Pedicata. Elle forme avec cette rivière un arrêt pour les eaux de la Tenuta Pio, qui ne s'écoulent qu'au moyen d'une *botte* (aqueduc en siphon), construite sous le canal de Terracine. La Tenuta Pio est en outre traversée par le lit de la Scaravazza, plus élevé que le sol, et sous lequel une seconde botte fait

écouler les eaux de la partie supérieure de cette Tenuta. Ces eaux sont, à partir de la botte du canal de Terracine, conduites au Portatore par le Scolo Pio.

20. Le Portatore di Badino forme, comme on l'a déjà dit, la principale décharge dans la mer des eaux des marais Pontins. Il prend son origine à l'extrémité de la ligne Pio, sur le côté droit de la voie Appia, à 372^{m} du Ponte Maggiore. Sa longueur, de ce point à la mer, est de 5742^{m}.

21. Il reçoit très-près de son embouchure le Mortaccino, canal qui s'embranche sur celui de Terracine, en prenant plus de la moitié des eaux de ce dernier, et qui reçoit la Stronzola, fossé d'écoulement des marais. Sa longueur est de 3445^{m} ; sa pente et sa vitesse sont très-faibles.

22. Presque au même point, le Portatore reçoit le canal delle Volte, ainsi nommé à cause de ses sinuosités. Ce canal, dont la longueur est de 5250^{m}, coule, ainsi que le Mortaccino, derrière la ligne des dunes qui séparent les marais de la mer. A son extrémité supérieure, il est prolongé par le fossé del Petto, dont la direction forme un coude prononcé avec la sienne, et dont le peu de largeur occasione un étranglement fâcheux dans le cours des eaux. Sa longueur est de 715^{m}.

23. Au fossé del Petto aboutit le canal ou Fiume Sisto, qui conserve ce nom jusqu'au Casotto di S. Donato, vis-à-vis le Rio Martino, sur une longueur de 21074^{m}. La 51me fosse milliaire, qui a reçu le nom de *canal della Mola* (26), sert, au moyen d'un régulateur, à dériver à volonté une partie des eaux du Fiume Sisto dans la ligne Pio. Cette disposition a eu pour objet

l'établissement de moulins placés à Mesa, au point où le canal della Mola se jette dans la ligne Pio, et qui ont été abandonnés.

24. Du Casotto di S. Donato au pont de S. Fecitola, le canal porte son ancien nom de *Rio Francesco.* Sa longueur est de 4010^{m}. A ce pont aboutissent, par le Fosso delle Congiunte, les eaux de la Tepia et des fosses de Cisterna, del Giunco, del Maschero, etc. Ce débouché ne suffit pas, à beaucoup près, pour leur donner écoulement, et, à l'exception des temps de sécheresse, elles couvrent, en amont du pont, une grande étendue de terrain.

25. Au même pont de S. Fecitola aboutit la partie inférieure du canal de la Ninfa, dont la longueur, jusqu'à Tor tre Ponti où il traverse la voie Appia, est de 6077^{m}. Au-delà de ce point jusqu'au lac de Ninfa, dont les sources très-abondantes alimentent cette rivière, la longueur est de 9728^{m}.

26. Revenant maintenant aux autres affluents du Portatore, on trouve d'abord vers le milieu de sa longueur le Scolo Pio, dont on a parlé (19).

On rencontre ensuite l'extrémité du canal della Botte, fossé d'écoulement creusé parallèlement à la voie Appia. La partie inférieure de ce canal verse seule ses eaux dans le Portatore. Celles de la partie supérieure sont détournées dans la ligne Pio au moyen du fosso di Caruccio, creusé près de la fosse milliaire n° 54. Cette partie supérieure passe dans une botte sous le canal della Mola, tracé du Fiume Sisto à la ligne Pio, et remonte jusqu'à un ancien lit abandonné de la Cavatella. Sa longueur totale est de 14479^{m}.

27. On a déjà expliqué (19) la manière dont les eaux du canal de Terracine, conjointement avec celles de la Pedicata, entraient dans le Portatore. Il reste à parler du canal ou ligne Pio. Ce canal, creusé d'un seul alignement sur la droite de la voie Appia, borde cette route depuis l'origine du Portatore (20) jusqu'au Foro Appio, où il reçoit la Cavata et la Cavatella réunies, sur une longueur de 21539^{m}. Au-delà de ce point, il est prolongé par un large fossé nommé *Linea morta*, de 5635^{m} de longueur, jusqu'à Tor tre Ponti, où la Ninfa traverse la voie Appia (25). A ce point est placé un régulateur, au moyen duquel on peut introduire à volonté la Ninfa dans la *Linea morta*. Mais la principale fonction de cette dernière est de donner écoulement aux eaux des marais. Outre la Cavata et la Linea morta, dont la réunion forme l'origine de la ligne Pio, cette ligne reçoit, à gauche, les eaux de la Schiazza; à droite, le Fosso di Caruccio (26); à gauche, par le Ponte Maggiore, l'Uffente, l'Amazeno et la Scaravazza; enfin les fosses milliaires, creusées pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales, perpendiculairement à la voie Appia, qu'elles coupent aux points correspondans à la position des milles antiques.

28. La Cavatella a ses sources situées à 6360^{m} du Foro Appio, au-delà de l'ancienne route consulaire, qu'on suivait avant la réparation de la voie Appia. A 3010^{m} du même point, elle s'unit à la Cavata. Cette dernière reçoit le Scolo de Fuga Pantano et le Fiume Coperto. Les sources de ces rivières sont sulfureuses; elles surgissent au pied de la montagne de Sermonetta, où elles sont recueillies dans un réservoir qui alimente le moulin dei Preti di Sermonetta, et où l'on observe le

phénomène singulier d'une source d'eau douce, jaillissant entre deux sources fortement sulfureuses.

29. La Schiazza est un canal parallèle à la ligne Pio. Il reçoit les eaux des anciennes fosses della Selcella et della Torre. Sa longueur est de 18520^{m}. Il se jette dans la ligne Pio, au point où elle est rencontrée par la 53me fosse milliaire.

30. L'Uffente a ses sources au bas de la montagne de Sezze. Il coule dans un nouveau lit qui lui a été tracé au-delà des marais, et qu'on a digué sur la rive droite, seulement jusqu'aux abords du Pantano d'Inferno. Les dernières parties de son cours, dont la longueur totale est de 21556^{m}, forment deux côtés du triangle qui enceint ce Pantano, l'un desquels longe la voie Appia, et se termine au Ponte Maggiore.

Il a été question (18) de l'Amazeno et de la Scaravazza.

31. *De la quantité d'eau qui tombe sur le bassin des marais Pontins.* Le tableau suivant offre les résultats des observations faites au collége Romain par MM. Calandrelli et Conti, depuis l'année 1782 jusqu'en 1801 inclusivement.

INDICATION des MOIS.	NOMBRE des jours de pluie pendant le mois.	ÉPAISSEUR moyenne de la couche d'eau pluviale tombée pendant le mois entier.	ÉPAISSEUR moyenne de la couche d'eau tombée pendant chaque jour pluvieux du mois.	ÉPAISSEUR moyenne de la couche évaporée pendant chaque mois d'une masse d'eau dont la surface de forme et grandeur constantes est sans cesse en contact avec l'air.
	Jours. 100e de jour.	mètres.	mètres.	mètres.
Janvier	11 . 55	0.071	0.0061	0.083
Février.........	10 . 45	0.070	0.0067	0.097
Mars...........	13 . 40	0.079	0.0059	0.140
Avril...........	11 . 75	0.074	0.0063	0.178
Mai............	9 . 70	0.056	0.0058	0.228
Juin............	7 . 05	0.038	0.0054	0.273
Juillet	4 . 00	0.012	0.0030	0.363
Août...........	4 . 30	0.027	0.0063	0.354
Septembre......	7 . 45	0.047	0.0065	0.268
Octobre........	12 . 50	0.113	0.0090	0.180
Novembre......	12 . 85	0.112	0.0087	0.115
Décembre......	15 . 00	0.106	0.0071	0.085
Total pour une année.	120 . 00	0.805	.....	2.362
Valeurs moyennes pour un jour de l'année...........	....	....	0.00671 pour chaque jour pluvieux de l'année.	0.006466 pour chaque jour de l'année.

Le *maximum* annuel d'eau pluviale répond à 1784; il est de 1m,096. Le *minimum* répond à 1794; il est de 0m,598.

Un second tableau indique les épaisseurs des couches d'eau pluviale obtenues chaque année, les jours de plus grande et de plus petite pluie.

ÉES.	JOURS de la plus grande pluie.	ÉPAISSEUR d'eau pluviale tombée le jour de la plus grande pluie.	JOURS de la petite pluie.	ÉPAISSEUR d'eau pluviale tombée le jour de la plus petite pluie.
		mètres.		mètres.
1782	3 avril.	0.029	29 octobre.	0.000047
1783	26 octobre.	0.032	25 mars, 30 avril, 31 mai, 16 août, 14 décembre.	0.000016
1784	9 octobre	0.054	9 août.	0.000009
1785	10 octobre	0.043	26 mars.	0.000010
1786	19 janvier.	0.036	25 janv., 25 févr. 9, 11 et 16 mars. 16 nov., 25 déc.	0.000016
1787	16 novemb.	0.052	27 mars.	0.000015
1796	1er octob.	0.064	4 avril.	0.000016
1797	6 avril.	0.126	21 mai.	0.000032
1798	28 septemb.	0.061	21 octobre.	0.000048
1799	1er décem.	0.061	8 et 23 octob.	0.000030
1800	31 janvier.	0.054	7 avril.	0.000032
1801	23 mai.	0.068	9 mai.	0.000046

n remarque, dans ce tableau, la pluie extraordinaire 5 avril 1797. En y ayant égard, la moyenne des plus des épaisseurs obtenues en vingt-quatre heures est m,057; et en l'excluant, de 0m,0504.

. L'épaisseur moyenne 2m,362 de la couche d'eau orée dans l'appareil de l'Observatoire doit être beau- plus grande que sur des terrains bas et abrités. La ce d'eau exposée à l'évaporation dans les marais tins varie beaucoup suivant les saisons. M. de Prony, rès divers rapprochemens dont le détail serait trop utieux, admet que le volume de l'eau évaporée, ou

perdue annuellement par les infiltrations, doit s'obtenir en multipliant la surface du bassin par le facteur 0,091, nombre établi de manière à faire compensation entre les parties constamment couvertes d'eau, et celles qui ne sont qu'accidentellement inondées ou simplement mouillées.

D'après la surface du bassin (18) et la hauteur annuelle des eaux pluviales (31), leur volume est de . . . . 1048601614 mc.

Retranchant le produit de la surface par le facteur 0,091. 118537574

Il reste, pour la quantité d'eau pluviale annuelle qui devient courante sur le bassin Pontin. 930064040

33. *Jauges des canaux.* D'après les jauges exécutées par M. Scaccia et M. de Prony, en général au moyen de flotteurs, on a trouvé,

	Section.	Vitesse moyenne.	Produit par seconde.
	mq	m	mc
à l'époque des basses eaux, pour le Portatore di Badino	132,945	0,2357	31,3351
Les jauges partielles de ses affluens ont donné, savoir :			
Ligne Pio, au-dessus de sa réunion avec la Schiazza.	15,527	0,5797	9,0010
Schiazza.	6,327	0,2668	1,3082
Uffente	15,27	0,3896	5,9492
Amazeno	12,932	0,5808	7,5109

Branche du canal de Terracine qui reçoit la Pedicata, et se rend au Portatore	19,401	0,1124	2,1806
Mortaccino	10,467	0,156	1,6328
Fiume Sisto	8,393	0,5324	4,4684

Le produit total des affluents, qui est de. . . 32,0511, diffère peu du résultat trouvé par la jauge immédiate du Portatore.

Le volume d'eau du canal de Terracine qui se rend immédiatement à la mer, et n'est point enlevé par le Mortaccino, est de 1^{mc},5328. La section est de 6^{mq},562, et la vitesse de 0^{m},2336.

34. Les basses eaux ont ordinairement lieu en juillet et août; les hautes eaux en mars et avril. Comme elles ne sont pas exactement simultanées dans les divers canaux, on ne peut comparer le produit du Portatore à celui de ses affluents. Voici les quantités d'eaux écoulées en une seconde par les divers canaux, à l'époque des crues :

Amazeno	78^{mc},990
Uffente	15,000
Ligne Pio, après la réunion de tous ses affluents,	25,312
Fiume Sisto	39,240
Portatore	180,000

35. La comparaison du volume d'eau écoulé à la mer avec celui fourni par les pluies sur toute l'étendue du bassin des marais Pontins (32) conduit à un résultat très-remarquable. On peut, en effet, connaissant la dépense

d'un canal à plus de deux époques de l'année, évaluer par l'interpolation, cette dépense à une époque quelconque. On obtient ainsi une relation entre la dépense q, et le temps t écoulé depuis le commencement de l'année. Cette relation étant supposée exprimée par l'équation $q=f(t)$, l'intégrale $\int dt.f(t)$ donnera le volume d'eau écoulé pendant l'intervalle de temps compris entre les valeurs de t par lesquelles on aura fixé les limites de cette intégrale. M. de Prony a trouvé, par cette méthode, que la dépense annuelle du Portatore était de 235257393$9^{mc}$, quantité plus que double de celle fournie annuellement par les pluies. Cette énorme disproportion indique manifestement que le bassin des marais Pontins emprunte aux bassins voisins, et particulièrement au bassin du Sacco, dont le sol est plus élevé que le sien, et est lui-même dominé par le bassin du lac de Fogliano, une très-grande partie des eaux qu'il débite. Ces eaux, après avoir pénétré sous la terre à une certaine profondeur, coulent sur des couches imperméables qui les amènent au pied des montagnes, où elles forment des sources pérennes très-abondantes, et dont la qualité fortement gazeuze est pour quelques-unes un indice du long espace souterrain que les eaux ont parcouru. Les limites réelles du bassin des marais Pontins sont donc fort reculées au-delà de ses limites apparentes.

36. *Relief du sol des marais Pontins.* Le tableau suivant indique les hauteurs et les positions des points les plus remarquables du périmètre du bassin.

ÉSIGNATION des SOMMETS.	HAUTEURS au-dessus de la mer.	DISTANCES à la méridienne de la maison de la Bonification, à Terracine.	DISTANCES à la perpendiculaire de la maison de la Bonification, à Terracine.
	mètres.	mètres.	mètres.
Sommet du Mont.	527	16645 ouest.	5780 sud.
Corniche du palais Poniatowski, à S. Felice, sous l'Attique········	114	13182 ouest.	6334 sud.
Pied de la tour détruite del Fico.·	30	13383 ouest.	7027 sud.
Cacume·············	1069	1519 ouest.	30493 nord.
di Fato.·············	1038	4066 est.	12235 nord.
Schiena d'Asino.·····	1477	13285 ouest.	30023 nord.
et du toit du clocher cathédrale de Sezze. ·	306	15796 ouest.	22320 nord.
Trévi, au bas duquel sont sources de l'Uffente···	508	12679 ouest.	21136 nord.
Sajano··············	457	7730 ouest.	19196 nord.
l'antique forteresse de nza.···············	354	5492 ouest.	21406 nord.
Capreo.·············	1458	14388 ouest.	31599 nord.
le la Palombara.······	980	19036 ouest	33804 nord.
de' Treconfini·······	1256	20778 ouest.	37061 nord.
le l'Acqua Puzza·····	599	19527 ouest	24666 nord.
le la santissima Trinita·	930	18008 ouest.	27146 nord.
Piedinoifo······ ····	379	20622 ouest.	26564 nord.
situé entre Sermonetta asciano············	728	20264 ouest.	29391 nord.
itué sur les confins des oires de Cori et Norma.	859	24576 ouest.	35412 nord.
: entablement de la on communale.······	362	38138 ouest.	42863 nord.
ointe blanche d'un clo- u haut de la ville.····	430	26744 ouest.	38038 nord.
: sommet de la maison ale.··············	431	22163 ouest	31502 nord.
etta : sommet du para- la tour du château··	282	21583 ouest.	27928 nord.
rtemise···········	920	39523 ouest.	46427 nord.
lto di Rocca Secca····	818	268 est.	17315 nord.
omano············	826	994 est.	7415 nord.
eano.·············	486	2234 ouest.	4245 nord.
: maison blanche au de la ville········	555	17650 ouest.	27928 nord
ecca : sommet du toit lais Gabrielli·······	372	3226 ouest.	20309 nord.
salle de la maison de la cation à Terracine, à- ès au niveau de la place de la ville····	38	0	0
e Théodoric sur le S. Angelo, près de ine,··············	212	940 est.	60 sud.
ontano : pointe de ro- ur le bord de la mer, e Terracine········	59	880 est.	330 sud.

Ces observations ont été faites pour la plupart au moyen du cercle répétiteur, d'après la méthode indiquée (13). Elles se rapportent principalement à la partie du contour du bassin qui est placée du côté des terres. Du côté de la mer, la hauteur de la crête des dunes au-dessus de la mer est de 24 à 25^{m} à la tranchée de Gorgo Leccino (17); de 21 à 22^{m} à Rio Martino; de 3 à 4^{m} au point traversé par le Portatore; de 1 à 2^{m} près de Terracine.

37. Les hauteurs des sources pérennes qui surgissent au pied des montagnes suivent la pente générale du terrain, et celle de la vallée du Sacco. Elle sont, au *maximum* d'élévation,

Lac Ninfa.	29^{m},29
Sources de la Cavata : réservoir du moulin *dei Preti di Sermonetta*.	17,82
Au bas du mont Piedinolfo.	13,92
Acqua puzza, bassin muré recevant les sources du Fiume Coperto	13,30
Sources de la Cavatella, gazeuses.	12,05
Du côté de Sezze.	15,12
Sources de l'Uffente : réservoir du moulin *Muti*.	8,76
Du moulin *Pani*.	7,59

38. *Axe principal d'écoulement.* La ligne Pio, prolongée par le Portatore, occupe dans les marais Pontins l'emplacement de l'axe principal d'écoulement (2). Au-dessus du foro Appio, cet axe se dirige vers le lac de Ninfa. Au foro Appio, le terrain est élevé de 6^{m},7 et 6^{m},2 au-dessus du niveau de la basse mer, à droite et à gauche du canal; vis-à-vis le Pantano d'Inferno,

de $1^m,2$ et $0^m,1$; à l'origine du Portatore, de $1^m,8$ et $1^m,2$; à l'embouchure du Scolo Pio dans le Portatore, $0^m,7$ et $0^m,6$; au pied intérieur de la dune, à l'embouchure du Portatore, $-0^m,1$ et $0^m,1$. Comme les terrains voisins de l'axe d'écoulement sont nécessairement les plus bas, d'après la définition de cet axe, on voit que le sol des marais est généralement élevé au-dessus du niveau de la mer. Sa surface entière peut y écouler ses eaux au moyen de dispositions bien entendues, à l'exception de trois ou quatre petites parties, dont la plus remarquable est le Pantano d'Inferno, et qui ne forment en totalité qu'une surface de 1265^h. Ainsi, en employant pour ces dernières parties la méthode des colmates, on ne peut avoir aucun doute sur la possibilité, et même la facilité de la bonification complète des marais Pontins.

DEUXIÈME SECTION.

39. *Système hydraulique des marais Pontins, au commencement de* 1777. Voici les principaux traits du tableau que M. de Prony offre de ce système.

La Tepia, dont les eaux se répandent aujourd'hui dans les champs de Piscinara, avant d'aller passer sous le pont de S. Fecitola (18), s'unissait en très-grande partie à la Ninfa. Les deux cours d'eau réunis se jetaient dans la partie supérieure de la Cavata, qui était alors séparée de la Cavatella. Ils traversaient ensemble la voie Appia, alors enfoncée et abondonnée, un peu au-dessous du foro Appio, et allaient couler dans le Fiume Sisto.

Ce dernier n'était point uni au canal delle Volte par le fosso del Petto (22), mais par une autre fosse dont la direction était encore plus désavantageuse.

La Cavatella, séparée de la Cavata, traversait la voie Appia un peu au-dessous du foro Appio. Elle coulait à sa droite. Ses eaux, aussi-bien que celles des canaux précédens, se répandaient, en beaucoup d'endroits, dans les terrains voisins. Sans suivre un cours bien déterminé, elles allaient se rendre dans le Portatore di Badino.

L'Uffente ne formait point, comme aujourd'hui, un canal d'enceinte (30). Son cours traversait les marais. Il recevait sur la gauche la Selcella, la Schiazza, le fosso della Torre. Il allait ensuite couler à gauche et le long de la voie Appia, jusqu'à l'extrémité nord du Pantano d'Inferno, où il s'unissait à l'Amazeno. Ces deux fleuves réunis suivaient cette voie le long de ce Pantano, et la traversaient sans passer sous le ponte Maggiore, qui était encombré, pour se rendre par un canal commun avec la Scaravazza dans le Portatore.

L'Amazeno, et les autres cours d'eau qui lui sont inférieurs, ont subi peu de changemens. Les principaux consistent en ce que les eaux de l'Amazeno n'avaient point été jetées, comme elles l'ont été depuis, dans le Pantano d'Inferno pour y former des colmates; et dans le déplacement des points où ces courans traversent la voie Appia pour se rendre dans le Portatore.

Le Mortaccino (21) existait; mais il était presque entièrement attéri.

En examinant l'ensemble de ce système, on voit qu'il était très-défavorable à l'évacuation des eaux. Aucun lit n'était préparé pour remplir les fonctions d'axe principal d'écoulement.

Les eaux des torrens qui traversaient la voie Appia, retenues à une hauteur superflue par l'obstacle que cette

cienne construction offrait à leur cours, inondaient les mpagnes voisines, et surtout la partie gauche de cette ute, où les eaux séjournaient constamment. Les nom- euses pêcheries, dont on avait laissé remplir tous les s des canaux, opposaient d'ailleurs de très-grands obsta- es à leur écoulement. L'air avait acquis les qualités les lus malfaisantes, et dans le centre des marais, les prin- ipes de la vie étaient presque éteints chez leurs malheu- eux habitans.

40. *Premiers projets conçus en 1777 pour le dessé- hement et l'assainissement des marais Pontins.* Le ystème établi en 1777, par Rapini, était presque uni- uement fondé sur l'idée de la formation d'un axe prin- ipal d'écoulement; idée qui lui avait été suggérée par ie VI lui-même. La direction de cet axe était celle de la gne Pio, parallèle et juxtaposée à la voie Appia. Ce ouveau canal devait recevoir tous les cours d'eau qui rivent du côté gauche de la plaine Pontine, à com- encer du fosso di Cisterna. Les eaux de l'Amazeno et e l'Uffente devaient d'ailleurs être introduites préala- lement dans le Pantano d'Inferno pour y former des olmates.

41. *Travaux hydrauliques exécutés depuis l'année 777.* Les premiers travaux entrepris eurent pour objet élargissement et le redressement du Portatore. Ils eu- nt les plus heureux résultats. On creusa ensuite la gne Pio, en commençant par l'extrémité inférieure. n y introduisit, en les faisant passer sous le ponte laggiore, l'Amazeno et l'Uffente. En 1781, la ligne , malgré les obstacles qu'avaient présenté les eaux de avatella (39), se trouva prolongée jusqu'au foro

Appio. On jeta alors la Cavata, qui recevait, à cette époque, la Tepia et la Ninfa (39), dans la Cavatella, et ces courans réunis furent conduits sous le pont du fort Appio, et introduits dans la ligne Pio. On prolongea ensuite, en 1786, la ligne Pio par le canal nommé *Linea morta*, destiné à recevoir des eaux d'écoulement.

Ces travaux coûtèrent beaucoup plus que Rapini ne l'avait présumé. On trouva sous la couche de terre tourbeuse qui se montre à la surface du terrain, une autre couche de dépôts pierreux très-durs, dans laquelle il fallut creuser à grands frais les lits des canaux, tandis qu'on avait pensé qu'il suffirait de les ouvrir, et que les eaux achèveraient d'elles-mêmes de leur donner la largeur nécessaire.

42. M. de Prony donne sur les pentes et les dimensions de ces canaux des détails dans lesquels on ne peut entrer ici. Il montre, d'après les nivellemens, que le canal Pio, dans l'état actuel où il ne reçoit plus la Tepia et la Ninfa et les autres eaux supérieures des marais, est fort loin de remplir les conditions indispensables à un canal formant l'axe principal d'écoulement, en ce que la surface de ses eaux n'est point suffisamment abaissée au-dessous du niveau des campagnes voisines. Il en conclut qu'à plus forte raison ce canal n'était nullement capable de recevoir toutes les eaux que Rapini y avait jetées, et encore moins toutes celles qu'il se proposait d'y conduire (40).

M. de Prony remarque aussi que, par suite de l'immission de la Cavata dans la ligne Pio, son lit est devenu sujet à quelques attérissemens.

43. Les inconvéniens de l'immission des eaux de

Ninfa dans la ligne Pio, ne tardant pas à se faire sentir, Rapini fit, malgré sa répugnance, recreuser et élargir un peu le Fiume Sisto, qu'il considéra comme un canal d'enceinte. Son lit fut prolongé en se dirigeant sur le pont de Tor tre Ponti, où les eaux de la Ninfa furent conduites. Il paraît qu'avant cette opération Rapini avait, au moment d'une grande crue, débarrassé le cours de la Ninfa des eaux de la Tepia, en rompant une digue et jetant ces eaux dans la campagne, où elles divaguent encore librement. Réunies à celles de plusieurs autres fosses, elles y séjournent long-temps, arrêtées par le pont de S. Fecitola, sous lequel elles doivent passer avant de s'écouler par le Fiume Sisto.

44. Les travaux de l'Amazeno et de l'Uffente, quoique fort importans, et l'une des parties les mieux conçues du projet de Rapini, ne furent commencés, par suite des oppositions de la famille Gabrielli qui possédait alors la Tenuta Pio, que vers 1787. L'Amazeno fut séparé de l'Uffente. Ses eaux furent jetées dans le Pantano d'Inferno, et forcées à s'écouler par le Ponte Maggiore. Mais Rapini, après quelque hésitation, abandonna l'idée de jeter aussi l'Uffente dans les marais. Il en fit un canal d'enceinte, tel qu'il existe aujourd'hui, se contenta de mettre en communication ses eaux avec le Pantano d'Inferno, un peu au-dessous du point où celles de l'Amazeno s'y répandent, et en fit couler le reste dans l'ancien lit qui leur était commun avec ce dernier fleuve. Il détourna le torrent de Ceriara, et le jeta dans un terrain bas, situé au-delà du nouveau lit creusé à l'Uffente.

Les dépôts de l'Amazeno ont effectivement élevé le sol

du Pantano d'Inferno. La végétation contribue à y soutenir les eaux, et actuellement ce terrain n'en reçoit point de l'Uffente, et y verse au contraire les siennes.

45. On entreprit, en 1788, le canal de navigation, aboutissant à Terracine, et décrit (19). On donna en l'exécutant, à l'extrémité de la voie Appia, une direction beaucoup plus belle que la direction antique que les Romains avaient rejetée sur le coteau; mais la mauvaise qualité du sol a donné, et donnera lieu encore, à de grandes dépenses qu'ils avaient sans doute voulu éviter.

46. Douze ans après le commencement des travaux, Rapini sentit enfin l'absolue nécessité de l'établissement des fosses longitudinales (3), qui n'étaient point entrées dans ses premiers projets. Le canal de la Schiazza (29) fut établi à cet effet. On y jeta les eaux de la Selcella et du fosso della Torre, qui se rendaient auparavant dans l'Uffente (39). M. de Prony pense qu'on devrait leur rendre leur ancien cours, et montre qu'on a placé beaucoup trop haut l'embouchure du canal de la Schiazza dans la ligne Pio. Astolfi, successeur de Rapini, exécuta, en 1795, le canal de la Botte (26), qui remplit aussi sur la droite des marais les fonctions d'une fosse longitudinale. Enfin, on établit les fosses milliaires (27), et d'autres fosses placées sur les confins des terrains bonifiés, et qui remplissent le double objet de limiter ces terrains, et de diriger convenablement les eaux.

47. *Ouvrages d'art et monumens construits depuis 1777 dans les marais Pontins.* Les constructions hydrauliques ont consisté principalement dans la réparation des trois ponts antiques de Tor tre Ponti, du foro Appio, et Maggiore; dans la construction de divers autres ponts

ou ponteaux établis sous la voie Appia ; des trois bottes dont on a parlé (19), (26) ; de trois régulateurs, l'un placé à l'extrémité de la Linea morta (27) ; l'autre à la dérivation d'une partie du Fiume Sisto dans le canal della Mola (23), qui est devenu inutile depuis qu'on a abandonné les moulins que ces eaux devaient mouvoir ; le troisième sur la rive droite de l'Uffente, servant à conduire à volonté une partie de ses eaux dans la Schiazza.

Le rétablissement de l'antique voie Appia est le plus important de ces travaux. Cette voie était par-tout noyée dans l'eau et dans la fange, et rompue en plusieurs endroits. On donna des issues aux eaux en décombrant les ponts, et comme les anciennes dalles étaient déplacées et en désordre, on les supprima, et on s'en servit, après les avoir cassées, pour établir une chaussée à la moderne. Deux colonnes milliaires antiques, les seules qui n'eussent point été renversées, servirent à fixer l'emplacement des autres, et c'est sur ces divisions que les fosses milliaires (27) ont été établies. La distance de ces colonnes, mesurée avec soin, donna pour la longueur du mille antique 1471^{m},23 ; et comme ce mille contenait cent pas de cinq pieds chacun, on en conclut que le pied romain devait être de 0^{m},294246. La route fut plantée de deux rangs d'ormes, et elle forme avec le large canal qui la borde un ensemble très-imposant.

Plusieurs constructions destinées à des usages utiles, telles que des maisons de poste, auberges, bâtimens d'exploitation, etc., dont quelques-unes ont été décorées, concourent à imprimer un caractère de grandeur aux travaux ordonnés par Pie VI.

48. *Dépenses faites depuis 1777 jusqu'en 1796.* Les travaux hydrauliques projetés par Rapini (40) étaient évalués environ 560,000 fr. Les dépenses se sont élevées à 8,678,000 fr., dont 2,354,000 fr. en bâtimens, 588,500 fr. pour le rétablissement de la voie Appia et ses plantations, et 7,535,000 fr. pour les travaux hydrauliques.

Les frais d'entretien annuel sont d'environ 23,000 fr.

Le revenu de divers terrains concédés ne s'élève qu'à 174,400 fr., et, eu égard à des rentes créées à l'occasion des travaux, les charges surpassent le revenu de plus de 100,000 fr.

49. *Rapprochement entre le système imaginé par Rapini et les travaux exécutés.* M. de Prony met en évidence, dans ce chapitre, les résultats des détails historiques précédens, en montrant que le système primitif de Rapini, fondé sur l'emploi d'un canal unique pratiqué dans l'axe principal d'écoulement, a dû, par la force des choses, recevoir de très-grandes modifications; que le défaut de ce système consistait principalement en ce qu'on avait voulu jeter toutes les eaux dans ce canal, tandis qu'on ne devait y introduire qu'une assez faible quantité d'eaux claires et pérennes, uniquement destinées à maintenir dans son lit un écoulement constant, afin de lui laisser remplir sa véritable destination, qui est d'écouler les eaux du sol (2). On a donc dû, en premier lieu, débarrasser ce canal des eaux de la Ninfa, de la Tepia, de la Cavata, de la Cavatella, etc., qu'on y avait d'abord introduites; puis renoncer à y faire entrer l'Amazeno et l'Uffente; et enfin, venir à son secours par les fosses longitudinales de la Schiazza et du canal della Botte, qui sont encore insuffisantes.

TROISIÈME SECTION.

50. *Situation du sol des marais Pontins en* 1811. M. de Prony parcourt, dans ce chapitre, toutes les parties des marais Pontins, en indiquant l'état dans lequel elles se trouvent sous le rapport de la culture ou de l'envahissement des eaux. Il est impossible d'entrer ici dans ce détail. On trouvera plus bas les résultats de cette reconnaissance.

L'auteur montre ensuite quels ont été les effets des travaux exécutés par Rapini et ses successeurs, et établit que l'état fâcheux dans lequel se trouvent actuellement les marais provient autant du défaut d'entretien et de surveillance que des fautes commises dans l'établissement des ouvrages.

51. *Moyens employés pour l'entretien des canaux.* Les principaux travaux d'entretien consistent dans la destruction des herbes qui croissent abondamment dans les lits des cours d'eau, et qui nuisent beaucoup à l'écoulement. M. de Prony a vu une fauchaison rapidement exécutée faire baisser subitement de $0^m,5$ le niveau d'un canal. On se sert pour cela de divers moyens : l'un se réduit à faire passer un troupeau de buffles dans le fond du lit. Un autre, moins imparfait, consiste dans l'emploi d'un cylindre de bois, dont la surface est garnie de palettes de fer pointues, et qu'on roule sur le fond, en le tirant au moyen d'une barque à laquelle sont attelés des buffles. Il ne peut servir que dans les canaux où il y a un chemin de hallage. Un troisième procédé offre l'emploi d'une pièce de fer recourbée, de $3^m,2$ de longueur, tranchante comme une lame de faux, et que

des hommes traînent sur le fond, en combinant leur marche de manière à lui faire décrire alternativement des arcs de cercle sur chacune de ses extrémités. L'effet de cet instrument est prompt et sûr; mais cette fauchaison donne une nouvelle activité à la végétation, et les plantes ne tardent pas à reparaître.

52. *Cadastre des marais Pontins.* M. de Prony donne ici un tableau détaillé des propriétés contenues dans les marais. En voici le résumé :

	Partie à droite de la voie Appia.	Partie à gauche de la voie Appia.
	ares.	ares.
Terres à blé	124158	227273
Terrains semés en maïs . . .	28611	232609
Terrains en pâturage.	583562	227982
Terrains devenus marécageux par suite de leur combustion. .	81715	127031
Terrains marécageux d'origine.	140260	111418
Totaux	958306	926313

Total pour les marais en emphytéose.	1884619
Chemins, canaux et rivières.	77677
Contribuans de 1re classe (18)	345472
———— de 2e classe	725157
Total général.	3032925

Les bois sont compris dans les terrains en pâturage. Ils sont moins abondans dans les marais que sur les

dunes voisines. Toutes les espèces de culture sont en vigueur dans les terrains contribuables, dont quelques faibles parties seulement sont envahies momentanément par les eaux, par suite de la mauvaise direction des ouvrages.

53. *Navigation intérieure.* Peu de contrées sont aussi favorisées sous ce rapport que les marais Pontins. La presque totalité des canaux ou fleuves qui les traversent est navigable, soit jusqu'aux sources, soit au moins jusqu'à l'entrée des gorges dont ils descendent. La Ninfa seule, à raison de sa rapidité, ne se remonte point au-delà de Tor tre Ponti.

Les bateaux employés à la navigation ont 7 à 13^{m} de longueur, $1^{m},3$ à $3^{m},2$ de largeur, $0^{m},5$ à $0^{m},8$ de tirant d'eau. Le hallage se fait généralement par des hommes.

L'exportation des productions du sol suffira, et au-delà, pour la prospérité du pays, quand la bonification aura été complétée, et qu'on aura établi un petit port à l'une des embouchures dans la mer.

54. *Projets proposés pour la bonification ultérieure des marais Pontins.* Ces projets ont trois objets principaux :

1°. L'amélioration du cours de la Scaravazza, de l'Amazeno et de l'Uffente, dont il faut perfectionner les lits, ou auxquels il faut en creuser de nouveaux au travers du Pantano d'Inferno, et pour le débouché desquels il faut construire sous la via Appia un nouveau pont en remplacement du pont Maggiore.

2°. Les moyens d'écoulement de la partie gauche des marais. On doit suppléer à l'insuffisance de la Schiazza par une nouvelle fosse longitudinale.

3°. Les eaux supérieures, c'est-à-dire, la Tepia, la fosse de Cisterna, etc. Il se présente, à l'égard de ces eaux, deux partis : l'un, de les conduire directement à la mer; l'autre, de les faire écouler par le Fiume Sisto. Le premier a seul fixé jusqu'ici l'attention des ingénieurs. M. de Prony décrit d'une manière très-détaillée deux projets présentés par Rapini, dont l'objet est de conduire les eaux supérieures dans la fosse de Gorgoleccino (17), qui aurait été recreusée; et un troisième projet présenté par M. Vici, et amélioré par M. Passega, qui, en soutenant toujours ces eaux à la droite du Fiume Sisto, les conduisait dans l'ancienne excavation connue sous le nom de *Rio Martino* (17). Ce dernier projet avait été adopté par Pie VI, et adjugé en 1797 pour 749,000 fr.; mais les circonstances politiques en ont empêché l'exécution.

QUATRIÈME SECTION.

55. Cette section est destinée au développement des projets proposés par M. de Prony pour la bonification complète des marais Pontins. L'auteur applique d'abord aux bassins qui fournissent les eaux supérieures de ces marais les principes et règles établis dans l'introduction (8 et 9) pour l'évaluation du volume d'eau que doivent écouler les canaux par lesquels ces eaux seront évacuées. Il trouve, en supposant qu'on reçût dans le Fiume Sisto toutes ces eaux, en commençant par le fosso di Sermonetta, qui divague à présent dans la campagne (18), que ce canal devrait pouvoir débiter, à la hauteur du Rio Martino, 93me d'eau par seconde, et à son extrémité inférieure 108me,5.

56. L'auteur discute ensuite la convenance de faire écouler ces eaux par le Fiume Sisto, convenablement rectifié et élargi, ou par le Rio Martino. Après avoir prouvé qu'en s'astreignant à la condition d'abaisser le niveau des grandes eaux à 1^{m} au-dessous des points les plus bas des champs de Piscinara, il leur restera encore une pente plus que suffisante jusqu'à la mer, en suivant le développement du Fiume Sisto et du canal delle Volte, il montre que ce parti réunit plusieurs avantages, tels que celui de conserver un grand volume d'eau à l'embouchure du Portatore, où il tend à se former une barre, et qui est l'emplacement naturel d'un port à creuser dans la suite; que la direction par le Rio Martino, à la vérité plus courte, donnerait lieu à de plus grandes dépenses, et obligerait à établir, dans un terrain d'alluvion, une profonde excavation où les eaux auraient une vitesse excessive, et dont l'entretien serait très-difficile. Cette considération est importante, puisque le soin avec lequel les canaux seront entretenus étant un des principaux élémens du succès de l'entreprise, il faut éviter de les multiplier, et ne point rendre sans nécessité cet entretien plus coûteux et plus difficile. M. de Prony résout d'ailleurs diverses objections dont ces idées sont susceptibles, en montrant que l'introduction des eaux dont il s'agit dans le canal Sisto ne donnera point lieu à des attérissemens dangereux, et qu'il sera facile de prendre des précautions suffisantes pour n'avoir point à craindre que ces eaux se répandent dans la partie droite des marais, en rompant la digue établie sur la rive gauche du canal.

57. M. de Prony examine ici la difficulté provenant de ce que le terrain sur lequel coulent les eaux supé-

rieures, depuis leur origine jusqu'aux points où on pourrait les recevoir dans le canal Sisto, offre une pente beaucoup trop rapide, dont il résulte que les cours de ces eaux sont des torrens, et ne sont point susceptibles d'un régime fixe. Cette difficulté n'avait point été résolue par les projets de Rapini et de Vici, qui avaient laissé subsister des pentes beaucoup trop fortes. M. de Prony montre qu'elle est insoluble si l'on s'astreint à donner aux nouveaux lits une pente de fond continue, et il propose en conséquence de diviser ces lits en plusieurs portions séparées par des chutes, conformément au système établi dans l'introduction (7). Par ce moyen, on ménage à volonté la pente, que l'auteur maintient entre 0,0002 et 0,0005; et en réglant convenablement les sections, on satisfait facilement à toutes les conditions d'un bon écoulement, et particulièrement à celle de faire augmenter progressivement la vitesse moyenne, ou au moins de la maintenir constante, afin que les matières dont les eaux sont chargées ne se déposent point dans les parties inférieures. L'auteur indique les directions de divers canaux ainsi disposés, dont il propose l'exécution; l'un pour réunir le torrent de Sermonetta à la Ninfa; l'autre pour conduire dans le Fiume Sisto les eaux supérieures autres que la Ninfa. Ce dernier aurait son embouchure à la hauteur du Rio Martino; mais une dérivation aboutissant à l'extrémité supérieure du Rio Francesco empêcherait que la partie inférieure du nouveau canal ne se trouvât chargée d'un trop grand volume d'eau. Il indique aussi les changemens qu'il faudrait apporter aux pentes de fond de la Ninfa, du Rio Francesco, du Fiume Sisto et du canal delle Volte, et les

perfectionnemens dont ces canaux seraient susceptibles, aussi-bien que le fossé del Petto, par lequel ils sont unis.

58. Les directions et les pentes des canaux étant déterminées, il reste à fixer leurs dimensions en largeur et en profondeur. L'auteur adopte pour leur section la figure composée de deux trapèzes superposés, dont il a montré dans l'introduction la convenance (10), et appliquant les règles de calcul qu'il a établies, il fixe ces dimensions en s'astreignant à la condition de procurer aux eaux des vitesses comprises entre $1^{m},10$ et $1^{m},25$ par seconde.

59. Après avoir terminé ce qui concerne les eaux supérieures, l'auteur entre dans de nouveaux détails sur le lit à creuser à l'Amazeno, au travers du Pantano d'Inferno; sur le recreusement du nouveau lit de l'Uffente, dont l'objet est d'en abaisser les eaux au-dessous des terrains environnans, seul moyen de remédier aux inconvéniens que présente actuellement une portion de digue, à laquelle on ne peut donner la stabilité nécessaire; sur un changement de direction de l'extrémité inférieure de la Scaravazza, et sur un nouveau pont à construire en remplacement du Ponte Maggiore, pour faire passer les trois courans réunis sous la voie Appia; sur le rétablissement des lits de la Schiazza et de la Selcella, pour remplir les fonctions de fosses longitudinales dans la partie gauche des marais; sur le perfectionnement du canal della Botte, qui remplit la même fonction dans la partie droite; enfin, sur diverses modifications à apporter au débouché des eaux dans le Portatore, dans la vue de procurer aux eaux du canal de Terracine un

abaissement au moyen duquel elles cessent de submerger une portion de la nouvelle voie Appia, où la mauvaise qualité du sol ne permet pas de soutenir cette route à la hauteur nécessaire, malgré les rechargemens qu'on y a faits. Les parois des canaux étant débarrassées des troncs d'arbres et autres corps durs, les recreusemens pourraient s'y faire avec économie au moyen des machines à curer analogues à celles employées à Venise, et qu'on pourrait mouvoir avec de petites machines à vapeur chauffées avec de la tourbe, ou avec des buffles.

60. Enfin, M. de Prony donne des détails historiques intéressans sur le port antique de Terracine, actuellement comblé. Il propose de procurer une issue à la navigation par ce port; et en recreusant le canal Mortaccino, dont les deux extrémités aboutissent à la mer, à Terracine et à Badino, d'en former un vaste port intérieur qui contribuerait puissamment à la prospérité des marais Pontins.

On terminera ici cet extrait, qui a peut-être passé les bornes qu'on doit s'imposer dans un journal, mais qui n'a pu suffire néanmoins pour donner une idée complète d'un ouvrage embrassant un aussi grand ensemble d'objets, et aussi riche de détails. En cherchant à saisir d'un coup-d'œil les résultats qu'il présente, on voit que M. de Prony a donné à ses lecteurs une connaissance intime et complète des marais Pontins considérés sous tous les rapports; qu'en développant l'histoire des travaux exécutés par Pie VI pour leur bonification, et en faisant connaître les effets que ces travaux ont produits, il a présenté le tableau d'une des expériences hydrauliques les plus grandes et les plus intéressantes qui aient

é faites, et l'une des plus propres à fixer les idées sur s principes d'après lesquels doivent être conçus les avaux destinés à opérer de grands desséchemens ; que n ouvrage offre pour la première fois l'ensemble de s principes, fondés sur les véritables notions de la éométrie et de la mécanique, confirmés par l'expérence, et qui désormais ne laisseront plus lieu, dans s travaux de ce genre, à aucune hésitation ni à aucun tonnement ; qu'après avoir montré l'insuffisance ou s inconvéniens des projets proposés jusqu'ici, l'auteur déduit des principes qu'il avait établis, et d'une étude pprofondie des localités, une nouvelle solution du problème de la bonification définitive des marais Pontins, ui paraît ne rien laisser à desirer ; enfin, que les détails le cette solution présentent des dispositions particulières usceptibles d'être employées ailleurs, et qui fournissent le nouveaux moyens de surmonter les difficultés locales et d'assurer la durée des ouvrages. Ces rapprochemens pourront faire entrevoir toute l'importance du travail dont M. de Prony va faire jouir le public, et juger de la reconnaissance qui lui est due pour les nouveaux progrès qu'il vient de faire faire aux connaissances qui servent à diriger l'exécution des grandes constructions hydrauliques.

Nota. Depuis la rédaction de cet extrait, on a commencé, chez Firmin Didot, l'impression d'une nouvelle édition de l'ouvrage de M. de Prony.

De *la Richesse minérale*, ou *Considération* *sur les Mines et Usines, etc.* (1).

Par A. M. Héron de Villefosse.

Extrait par M. Brochant-de-Villiers (2).

De tous les arts que l'"industrie humaine a créés, n'en est peut-être aucun qui soit forcé d'emprunter secours d'autant de sciences à-la-fois que l'art mines. La minéralogie, la géologie et la chimie s ses premières bases; elles apprennent au mineur à connaître les minéraux utiles, à les suivre dans le divers gisemens et à en déterminer la composition; m pour les extraire du sein de la terre, pour vaincre obstacles sans nombre qui se présentent dans ce ge de travaux, et surtout pour arriver à ces résultats a une économie toujours utile et presque toujours ind pensable, on est forcé de s'aider de tous les moy que fournissent la géométrie, la mécanique, l'hydr lique, etc.

---

(1) Trois volumes in-4° avec un atlas in-folio de 65 pl ches.

(2) Il a déjà été parlé de cet ouvrage dans ce recue en 1816, lorsque l'auteur le présenta manuscrit à l'A démie royale des Sciences, dont il est aujourd'hui membr Nous avons donné alors (*voyez* tome II, page 90), d'apr le rapport très-avantageux qui fut fait par MM. Girard Brongniart, commissaires, un précis abrégé de son obje et des différentes matières qui y sont traitées.

Cette vaste étendue de connaissances est cause que nous ne possédons encore, par rapport à l'art des mines, que divers traités particuliers sur quelques-unes de ses branches, et aucun traité complet. Encore ces traités particuliers, dont la plupart sont déjà anciens, présentent-ils tous un vide extrêmement fâcheux pour l'instruction. Dans tous, on établit des principes généraux, soit sur l'exploitation, soit sur la préparation et le traitement des minerais; mais dans ces ouvrages, à l'exception de ceux qui ont pour objet la métallurgie, les principes, qui ne sont autre chose que le résultat de la manière dont l'auteur a jugé les divers procédés en usage, ne sont appuyés le plus souvent que sur des exemples fictifs, et rarement sur des exemples réels tirés d'exploitations existantes, à cause de la difficulté de se procurer tous les matériaux nécessaires pour les faire connaître, et des dépenses considérables de dessins et de gravures qu'ils entraînent. Les exemples fictifs peuvent avoir d'abord quelque avantage pour faciliter l'intelligence des procédés; mais les exemples réels sont toujours infiniment plus instructifs : aussi on les recherche avidement dans d'autres ouvrages malheureusement trop peu nombreux, tels que des Voyages et des Recueils périodiques qui contiennent çà et là quelques descriptions particulières de mines ou d'usines. C'est ainsi que les *Voyages métallurgiques* de Jars, quoique publiés depuis quarante ans, jouissent encore d'une assez grande estime, malgré les immenses perfectionnemens qu'ont reçus postérieurement les diverses sciences relatives à l'art des mines et tous ses procédés pratiques. Mais, d'un autre côté, dans ces ouvrages descriptifs, qui d'ail-

leurs ne sont jamais que des fragmens le plus souvent très-imparfaits, on regrette presque toujours de ne pas voir les exemples pratiques particuliers rattachés aux principes généraux de l'art des mines d'après lesquels leurs travaux ont été combinés.

Il n'existait donc aucun ouvrage sur l'art des mines dans lequel les principes théoriques fussent constamment accompagnés d'exemples d'application pratiques. Les Allemands même, qui ont tant écrit sur les mines, n'ont aucun ouvrage de ce genre. M. de Villefosse a eu pour but de remplir ce vide, parce qu'il a senti qu'on ne pouvait rien faire de plus utile pour les progrès de l'art.

Mais il avait en même temps un autre but qui est extrêmement important, surtout en France, où les idées exactes que l'on doit se former des mines sont encore si peu répandues : c'était de développer les causes de la prospérité des mines, et de leur influence sur la richesse de chaque état; et il ne pouvait y parvenir sans une foule de considérations d'économie politique, sur la propriété des mines, sur leur législation et le genre de surveillance et de protection que leur doit le gouvernement, et sans entrer dans tous les détails de la gestion administrative et financière de ces grandes entreprises; ce qui nécessitait un grand nombre de tableaux et de calculs de statistique.

Ce double but l'a conduit à adopter pour son ouvrage le titre de la *Richesse minérale*, et à le partager en deux divisions, savoir : la *Division économique*, qui traite de toutes les questions administratives générales et particulières que l'on peut faire sur les mines, et la *Division*

technique, où l'auteur a renfermé tout ce qui a rapport à l'art des mines.

La première division, qui forme un volume in-4°, a été publiée en 1810; la seconde, la *Division technique*, est celle qui paraît en ce moment, et qui forme deux volumes in-4° avec un atlas in-folio de 65 pages.

Il a déjà été donné, dans le 2me volume de ces *Annales*, une espèce de table de matières abrégée de cette division; il est donc superflu d'entrer ici de nouveau dans les détails des objets qui y sont traités, et d'indiquer les contrées riches en mines et les travaux souterrains, machines ou usines qui sont représentés par les planches. Ce qui en a été dit suffit pour faire juger de leur nombre et de leur importance. Mais il ne sera pas inutile de faire connaître la manière générale dont l'ouvrage est exécuté, et les moyens que l'auteur a eus à sa disposition; car on est d'abord étonné qu'un seul homme ait pu embrasser un champ aussi vaste, et réunir une si grande quantité de matériaux authentiques dont la plus grande partie n'avait jamais été publiée dans aucun ouvrage français ou étranger; et on l'est encore davantage qu'une entreprise aussi étendue ait été conçue, préparée et exécutée dans le court espace de quinze années. Cela s'explique par les circonstances extraordinaires extrêmement favorables dans lesquelles l'auteur s'est trouvé, et dont il a su profiter avec beaucoup de zèle, d'activité et de talent.

En 1803, lorsque les troupes françaises occupèrent le Hanovre, M. de Villefosse fut envoyé au Harz comme inspecteur général des mines. Il y séjourna d'abord trois ans. En janvier 1807, il reçut une mission semblable qui

dura plus d'une année dans toutes les provinces prussiennes, et généralement dans toutes les contrées de l'Allemagne alors envahies. Dans ces fonctions importantes et délicates, il eut constamment le talent bien rare de mériter et d'obtenir à-la-fois l'approbation du gouvernement français et la reconnaissance générale des habitans du pays, qui lui en ont donné depuis, et à plusieurs époques, les preuves les plus positives. Mais il n'avait pas borné là sa louable ambition.

Dès son arrivée à Clausthal, chef-lieu du Harz, il sentit combien il pouvait recueillir de fruit de son séjour dans un pays où l'art des mines est si florissant, et malgré ses travaux administratifs journaliers, il s'occupa avec ardeur d'utiliser pour son instruction personnelle les grands exemples d'exploitations qu'il avait sous son inspection; mais les matériaux de toute espèce, en documens divers, calculs économiques, tableaux de produits, et surtout en plans de travaux souterrains, de constructions et d'usines qu'il put réunir, et que souvent il fit lever lui-même, furent bientôt si abondans, qu'il conçut le projet de les publier, en en formant, d'après les idées que nous avons exposées ci-dessus, un Traité général des travaux des mines, appuyé sur un grand nombre d'exemples authentiques. Néanmoins il sentit que son cadre était trop vaste pour qu'il pût le remplir entièrement, même avec les ressources immenses que lui fournissaient les pays soumis à son inspection : pour y suppléer, il établit une correspondance étendue dans d'autres contrées avec des savans versés dans l'art des mines; lui-même se rendit en Saxe et en Bohême dans un intervalle où ses missions lui laissèrent quelque

loisir; il y séjourna plusieurs mois : depuis et jusqu'en 1813, d'autres missions qu'il reçut du gouvernement, l'une de près de deux années dans les provinces prussiennes de la rive droite du Rhin, l'autre dans la Carniole, la Carinthie et le pays de Salzbourg, toutes contrées très-riches en mines, et plusieurs voyages en France lui fournirent encore une masse de lumières et de matériaux considérable. Les bases de son ouvrage sont donc le résultat de dix années consécutives de voyages et d'inspection dans un grand nombre de contrées célèbres par de grandes exploitations souterraines.

On sent facilement que ces matériaux devaient être le plus souvent informes ou insuffisans, et que l'auteur a été forcé d'employer un temps considérable pour les approprier à son but, soit par le retranchement des détails d'un intérêt trop local, soit par des additions, sans toutefois s'écarter en rien d'une exacte représentation. Les plans de mines et de machines exigèrent surtout beaucoup de soin : voulant avant tout que son ouvrage fût facile à comprendre, l'auteur a souvent multiplié les coupes d'après celles qu'il avait vérifiées ou levées lui-même sur les lieux, et il a prodigué sur les planches mêmes les textes indicatifs. Aussi devons-nous déclarer que l'on trouve bien rarement des planches gravées, exécutées avec autant de soin, et où l'on puisse suivre avec autant de facilité et de promptitude les objets qu'elles représentent, quoiqu'ici ces objets soient souvent très-compliqués.

La division technique de cet ouvrage comprend quatre parties, sous les titres suivans :

1°. *Notions préliminaires*, concernant les roches, les

minerais, la géométrie souterraine, l'éclairage, les moyens de sûreté contre les eaux souterraines, contre les affaissemens ou effondremens, et contre les gaz délétères.

2°. *Exploitation des mines* proprement dite.

3°. *Machines et préparation mécanique* des minerais.

4°. *Travaux métallurgiques* ou usines.

Les principaux objets qui y sont traités, ainsi que les exemples qui y sont cités et que les planches représentent, ont été déjà indiqués dans le 2me volume des *Annales*. L'auteur s'est attaché particulièrement à développer tout ce qui a rapport aux *exploitations de la houille*, qui ont une influence si puissante sur la prospérité commerciale des pays qui les possèdent; il a décrit les nombreux perfectionnemens qu'on y a apportés dans ces derniers temps et jusqu'à ce jour : c'est surtout à cet égard que son ouvrage nous paraît beaucoup au-dessus de tous ceux qui nous sont connus. Il a figuré toutes les différentes variétés de *machines à vapeur*, y compris les plus nouvelles, dites *à haute pression :* c'est pour cela qu'il a ajouté deux planches à son atlas, qui d'abord, en 1816, n'en contenait que 63. Les entreprises de *navigation souterraine*, le traitement des minerais métallifères, et particulièrement de ceux de *mercure* et de *zinc*, nous ont paru décrits avec plus d'ensemble que dans aucun autre ouvrage connu. En un mot, on peut dire que l'ouvrage de M. de Villefosse est complètement au niveau de tous les perfectionnemens actuels de l'art des mines.

Les principes d'après lesquels les travaux des mines sont dirigés sont exposés dans cet ouvrage avec beaucoup

de clarté, mais en même temps avec une grande brièveté, l'auteur ayant préféré s'étendre davantage sur la description des exemples, parce qu'il a reconnu que c'était le moyen le plus sûr de bien faire comprendre les principes; il a parfaitement exprimé son intention à cet égard par l'épigraphe qu'il a placée en tête de son atlas: *Longum per præcepta, breve per exemplum, iter.* Aussi les descriptions ajoutent infiniment à l'intérêt que présentent par elles-mêmes les figures. Parmi les exemples de travaux souterrains, constructions, machines, usines, que l'auteur a représentés, il en est sans doute que l'on avait déjà fait connaître; mais on n'en citerait presque point qui aient été figurés et décrits ailleurs avec autant de soin et d'exactitude; et un grand nombre n'avaient jamais été publiés. Sous ce rapport, l'ouvrage de M. de Villefosse peut être regardé comme absolument neuf : il l'est bien davantage par son ensemble, puisque, comme nous l'avons déjà dit, il n'a jamais existé, dans aucune langue, aucun ouvrage où l'on trouvât à-la-fois une exposition de tous les principes de l'art des mines et une réunion nombreuse d'exemples authentiques existans.

Ces détails suffisent pour faire juger du mérite et de l'importance de l'ouvrage de M. de Villefosse. Son utilité ne doit pas se borner à éclairer les ingénieurs des mines et les exploitans de tous les pays (1) auxquels il

---

(1) L'utilité de la *Richesse minérale* a été justement appréciée par le gouvernement français; déjà il a fait retirer deux cents exemplaires de cet ouvrage pour lesquels il avait souscrit; nous apprenons aussi que le gouvernement du

est spécialement destiné ; mais les géologues, les savans qui s'occupent de la chimie appliquée aux arts, et les mécaniciens le consulteront avec beaucoup de fruit..

Enfin, les administrateurs, les hommes d'état doivent aussi faire de cet ouvrage le sujet de leurs méditations. Ils y puiseront mieux que par-tout ailleurs les vrais principes, souvent méconnus, d'après lesquels ils doivent envisager les mines sous les divers rapports de l'économie politique ; ils les trouveront surtout développés dans le premier volume ; mais les deux autres leur en offriront encore des applications fréquentes et des preuves multipliées, résultats d'une longue et utile expérience : ces deux derniers volumes et l'atlas, c'est-à-dire, la *division technique* de la *Richesse minérale*, présentent, suivant l'expression de l'auteur, les *pièces justificatives* des principes qui sont développés dans la *division économique* de cet important ouvrage.

Lettre *à M.* Gay-Lussac *sur un nouvel alcali végétal découvert par MM.* Lassaigne *et* Feneulle.

« Nous nous empressons de vous communiquer une notice sur la staphisaigre, *delphinium staphysagria* de Linné, que nous vous prions d'insérer dans le prochain Cahier des *Annales de Chimie.*

---

royaume de Hanovre vient d'en faire une demande de plus de cinquante exemplaires, sans doute afin d'en distribuer une grande partie aux divers exploitans et aux administrateurs des mines du Harz.

» En nous occupant de l'analyse de la graine de ce végétal, nous sommes parvenus à en extraire une matière blanche, cristalline, d'une saveur excessivement âcre, présentant d'abord un peu d'amertume : cette substance jouit de propriétés alcalines ; elle verdit le sirop de violette ; elle ramène au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide ; elle se comporte avec les acides d'une manière analogue à la morphine, la strychnine et la picrotoxine, à côté desquelles elle doit se ranger. Les principales propriétés que nous avons reconnues jusqu'à présent à cette substance obtenue la plus pure possible, sont les suivantes : c'est une poudre blanche, très-fine, inodore, qui, vue au soleil, paraît brillante ; projetée sur des charbons ardens, elle se fond et brûle sans résidu en répandant une fumée blanche, épaisse, d'une odeur particulière. Elle est peu soluble dans l'eau ; l'alcool et l'éther sulfurique la dissolvent avec facilité.

» Elle forme avec les acides sulfurique, nitrique, hydrochlorique et acétique, des sels qui sont très-solubles, dont la saveur est extrêmement amère et âcre ; la potasse, la soude, l'ammoniaque précipitent cette nouvelle substance sous forme floconneuse, qui, recueillie sur un filtre, présente l'aspect de l'alumine en gelée.

» Ce corps alcalin, d'après nos expériences, existe dans la graine de la staphisaigre, combiné avec l'acide malique : c'est cette combinaison qui donne la saveur âcre à la semence de cette renonculacée, qui n'existe seulement que dans les cotylédons.

» Le procédé que nous avons suivi pour extraire cette matière est le même que celui proposé par M. Robiquet pour obtenir la morphine : nous avons fait bouillir une

portion de cotylédons épuisés par l'éther dans un peu d'eau distillée; les liqueurs, filtrées, furent mêlées avec un peu de magnésie calcinée, bien pure; on fit bouillir un peu et on filtra; le résidu, lavé avec soin, fut soumis à l'action de l'alcool à 40° bouillant; celui-ci, mis à évaporer à l'air libre, laissa dans la capsule cette nouvelle substance ayant l'aspect que nous avons énoncé plus haut : nous sommes parvenus aussi, par deux autres moyens, à nous la procurer dans un grand état de pureté.

» Si, comme nous le pensons, ce corps alcalin végétal diffère de ceux que nous avons nommés plus haut, nous proposons de l'appeler *delphine*; dénomination qui rappellera, comme pour la strychnine, le nom du genre auquel appartient le végétal d'où on l'extrait.

» Nous vous ferons connaître, dans un travail plus détaillé, l'histoire de ce corps alcalin, et la marche que nous avons suivie dans l'analyse de la staphisaigre. »

Paris, le 12 juillet 1819.

NOUVELLE PILE *à deux élémens, et perfectionnemens de la pile sèche.*

PAR M. ZAMBONI.

LA nouvelle pile, que M. Zamboni désigne par le nom de *pile binaire*, n'est composée que d'un élément métallique et d'un élément humide. Dans sa construction, il faut avoir égard aux deux conditions suivantes :

1° l'élément humide doit être un conducteur imparfait, tel que l'eau; et 2° il faut que les deux élémens soient en contact par des surfaces inégales. Voici la manière la plus simple et la plus exacte de construire une pile binaire.

Prenez des feuilles d'étain et formez-en de petits carrés d'un demi-pouce de côté, terminés par une queue très-fine de 2 à 3 pouces de longueur : ces carrés seront les élémens métalliques de la pile. Sur une surface bien isolée, placez en cercle trente verres de montre que vous remplirez tous, jusqu'à une certaine hauteur, d'eau distillée, et faites-les communiquer ensemble, comme dans l'appareil à couronne de tasses de Volta, en plaçant chaque élément métallique à cheval, et dans le même ordre, sur deux verres voisins; mais de manière que sa portion carrée soit entièrement plongée dans l'eau de l'un des verres, et que l'extrémité de sa queue touche seulement l'eau de l'autre verre. Le cercle restant ouvert, faites communiquer l'une de ses extrémités avec le sol, et l'autre avec un bon condensateur : vous reconnaitrez qu'il a deux poles, et que celui qui correspond aux petits carrés des élémens métalliques est vitreux, tandis que l'autre est résineux.

Un appareil semblable au précédent, dont les élémens métalliques sont des rectangles allongés, ne donne aucun signe électrique tant que les rectangles plongent également dans l'eau par chacune de leurs extrémités; mais aussitôt qu'ils plongent inégalement, l'électricité se manifeste à ses deux poles, comme dans l'appareil précédent : le pole vitré correspond toujours aux plus grandes surfaces métalliques immergées; de sorte que

l'on peut rendre le même pole alternativement vitré et résineux en faisant plonger plus ou moins dans l'eau l'extrémité de chaque rectangle qui lui correspond.

En employant du zinc et même du cuivre au lieu d'étain, les effets sont les mêmes ; mais avec l'oxide de manganèse on n'obtient aucun signe électrique.

La pile binaire ne charge pas le condensateur instantanément ; l'électricité ne se manifeste qu'au bout d'une demi-minute, souvent même davantage, et elle augmente par degrés. On pourrait croire que cet effet est produit par l'oxidation de l'étain, parce qu'alors la pile serait à trois élémens ; mais, au bout de plusieurs jours, la tension électrique était la même qu'au moment où l'appareil avait été disposé, quoiqu'on n'aperçût pas la plus légère trace d'oxidation. Ce qui prouve encore que le développement de l'électricité dans la pile binaire n'est point dû à l'oxidation du métal, c'est que lorsqu'on se sert de zinc au lieu d'étain, l'électricité va en diminuant à mesure que l'oxidation fait des progrès ; bientôt elle est tout-à-fait nulle, et enfin elle se manifeste de nouveau, mais en sens contraire.

Une pile construite avec dix disques de papier étamé, sans le secours d'aucun autre corps, a donné à un électromètre de Bennet armé d'un condensateur un écartement d'un tiers de pouce, au bout d'environ une demi-minute ; la face métallique était électrisée vitreusement, et celle de papier résineusement : l'effet a augmenté constamment avec le nombre des disques.

Une autre pile de disques de papier étamé dont le revers avait été couvert d'une couche de miel, afin d'y entretenir une humidité plus constante, a aussi donné de l'électricité;

mais il fallait 40 à 50 disques pour produire la même tension que la pile précédente de 10 disques de papier étamé, et l'électricité avait changé de nature; car le métal s'est trouvé électrisé résineusement et le miel vitreusement. Le jour suivant, la tension électrique était presque nulle, et bientôt elle disparut complètement: c'est que le papier ayant été pénétré dans toute sa masse par le miel, l'étain se trouvait également en contact par ses deux surfaces avec ce dernier corps. Enfin, une pile de papier étamé dont tous les disques avaient été collés ensemble, ne donnait non plus aucun signe électrique, parce que le contact du métal avec le papier était parfaitement le même à chaque face.

Quand une pile de l'espèce des précédentes est devenue tout-à-fait inerte, on peut lui rendre son activité en soulevant les disques pour les aérer et diminuer l'influence de l'humidité sur l'une des faces de chaque disque. En général, les piles binaires ne produisent leur effet qu'autant que les faces de contact entre l'élément métallique et l'élément humide sont inégales.

La conductibilité du liquide a une très-grande influence sur l'énergie de ces piles. Quelques gouttes de dissolution de sel ammoniac ajoutées à l'eau augmentent un peu la tension électrique; une nouvelle addition la fait diminuer, et enfin, en continuant à ajouter du sel ammoniac, elle s'anéantit entièrement. Il faut par conséquent que l'élément liquide des piles binaires soit un conducteur imparfait. Nous nous abstenons de rapporter l'explication que donne M. Zamboni de sa pile secondaire: elle ne nous paraît pas d'accord avec les principes établis par l'illustre Volta, et M. Configliachi a

jeté du doute sur les observations même de M. Zamboni, en disant qu'il n'a pu se convaincre si la faible tension qu'il a observée quelquefois dans la pile secondaire doit être attribuée plutôt à l'action de ses élémens qu'aux instrumens qu'on est obligé d'employer pour la reconnaître, et que leur grande sensibilité rend suspects. Au reste, les faits recueillis par M. Zamboni sont faciles à vérifier, en opérant sur des colonnes composées d'un plus grand nombre de disques que celui qu'il a employé, et s'ils se vérifient, on ne sera pas en peine de les expliquer. Il est donc prudent de ne pas hasarder une explication dans ce moment.

Relativement à la pile construite avec du papier étamé et l'oxide noir de manganèse, M. Zamboni recommande de choisir toujours un papier qui, disposé seul en pile, ait la même polarité que lorsqu'on emploie en même temps l'oxide de manganèse, puisqu'on vient de voir qu'une pile de papier étamé a des poles électriques. Mais avec quelque espèce de papier étamé que soit construite une pile, elle gagne toujours en énergie, et sa polarité coïncide avec celle d'une pile montée avec du papier étamé et de l'oxide de manganèse, lorsque le papier est imprégné d'une solution de sulfate de zinc, et ensuite desséché.

M. Zamboni attend un temps sec pour préparer le papier avec lequel il doit construire sa pile : après avoir étendu la dissolution de sulfate de zinc sur la face du papier qui n'est point recouverte par l'étain, et l'avoir desséchée, mais sans enlever au papier son humidité propre, on recouvre cette face d'oxide de manganèse bien sec; on construit aussitôt la pile, et on a grand

soin de la défendre de toute action de l'air. Le papier doit être fin et non collé : s'il ne réunissait pas ces conditions, il faudrait ajouter de l'alcool à la dissolution de sulfate de zinc. M. Zamboni a reconnu, par une longue expérience, que la meilleure manière de conserver la pile était de l'enfermer dans un tube de verre de cristal, d'un diamètre un peu plus grand que celui des disques, et de couler dans l'espace intermédiaire un mastic encore tiède de cire et de térébenthine. Une pile de 2000 disques construite d'après ces principes donne une étincelle visible de jour. M. Zamboni recommande le parfait isolement de toutes les parties de la pile qui ont besoin d'être isolées.

(*Annalen der Physik.* LX. 151.)

ANALYSE *de l'Eau de la mer Morte* (1).

L'EAU analysée avait été recueillie et conservée dans un vase de fer-blanc fermé hermétiquement. Au moment où elle a été retirée du vase, elle n'avait point d'odeur de bitume ni aucune autre mauvaise odeur : elle était un peu trouble; mais elle est bientôt devenue

---

(1) Cette analyse, ainsi que la suivante, sont extraites du *Voyage dans le Levant*, par M. le Comte de Forbin, qui avait recueilli lui-même l'eau de la mer Morte et celle du Jourdain, et qui avait bien voulu les remettre à M. Gay-Lussac pour les soumettre à quelques essais.

parfaitement transparente. M. Bosc n'a pu y découvrir aucun vestige d'animaux microscopiques. Sa saveur était très-saline et amère.

Sa densité, à la température de 17° centigrades, est de 1,2283. Cette densité est assez grande pour qu'un homme puisse facilement surnager sur la mer Morte sans faire aucun mouvement; mais elle dément ce que dit Strabon, qu'un homme pourrait y demeurer debout sans s'enfoncer au-dessus du nombril; car aujourd'hui il s'enfoncerait à-peu-près des 81 centièmes de son volume. Il n'est pas d'ailleurs probable que la salure de la mer Morte ait été plus grande autrefois qu'elle n'est aujourd'hui.

L'eau, exposée à un froid de 7° au-dessous de la glace fondante, ne laisse précipiter aucun sel; ce qui prouve qu'elle n'est point saturée : cependant elle commence à déposer du sel marin à la température de 15° lorsqu'elle a perdu par l'évaporation les 4,71 centièmes de son poids.

L'hygromètre de Saussure, plongé dans de l'air en contact avec cette eau, marque environ 82°, c'est-à-dire, que l'air ne prend que les deux tiers de l'humidité qu'il prendrait s'il reposait sur de l'eau pure. Il résulte de là que l'air n'enlève de l'eau à la mer Morte que lorsqu'il est au-dessous de 82° d'humidité, et qu'il lui en abandonne, au contraire, toutes les fois qu'il est au-dessus de ce même terme. Les bords de la mer Morte devraient donc jouir, en général, d'une atmosphère sèche. Il est très-probable que cette mer est parvenue à un point fixe de salure relativement à l'humidité de l'air et à sa température, et l'on pourrait vérifier cette

conjecture si l'on connaissait le degré moyen de l'hygromètre à sa surface.

100 parties d'eau de la mer Morte laissent, par l'évaporation, un résidu salin qui, complètement desséché et après qu'on a tenu compte de l'acide marin que la chaleur en dégage, pèse 26,24. Ce résidu est composé de :

Chlorure de sodium (sel marin)	6,95
Chlorure de calcium (muriate de chaux). . .	3,98
Chlorure de magnesium (muriate de magnésie)	15,31.
	26,24.

Il contient aussi une petite quantité de chlorure de potassium (muriate de potasse) et des traces d'un sulfate très-probablement à base de chaux.

Essai *de l'eau du Jourdain.*

Cette eau est parfaitement transparente ; elle n'a pas de saveur sensible.

Le nitrate de baryte et l'oxalate d'ammoniaque en troublent légèrement la transparence, et y annoncent par conséquent la présence du sulfate de chaux.

Le nitrate d'argent y produit un précipité très-sensible.

L'eau de chaux et l'eau de baryte y forment un précipité floconneux et léger qui est de la magnésie.

Par l'évaporation, elle donne des cristaux de sel marin.

Il résulte de ces essais que l'eau du Jourdain tient en dissolution principalement du sel marin, du muriate de magnésie, une très-légère quantité de sulfate de chaux, et probablement aussi du muriate de chaux, mais en quantité extrêmement petite. Ces sels, autant qu'on peut en juger par ce premier aperçu, n'y sont pas dans le même rapport que dans l'eau de la mer Morte : le sulfate de chaux, par exemple, est relativement beaucoup plus abondant dans l'eau du Jourdain que dans celle de la mer Morte ; mais il est probable que la grande quantité de muriates contenue dans cette dernière empêche le sulfate de chaux de rester en dissolution.

EXTRAIT *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 7 *juin* 1819.

MM. Sédillot et Salmon Maugé, jugeant que l'époque est peu éloignée où ils pourront communiquer à l'Académie tous les détails de la méthode qu'ils ont découverte pour préserver les substances animales, demandent la permission de retirer leur premier Mémoire.

M. Jesustedt demande des commissaires pour juger une invention qui, suivant lui, intéresse beaucoup la navigation.

M. D'Hombres-Firmas adresse un *Mémoire pour servir à l'Histoire des Cévennes.*

M. Jomard envoie du *blé trouvé dans les Catacombes de la ville de Thèbes.* Ce blé sera examiné par une commission composée de botanistes et de chimistes.

M. Dupuytren lit un *Mémoire* intitulé : *Ligature de l'iliaque externe.* (Nous ferons connaître le jugement des commissaires).

M. Laurens présente une nouvelle cafetière de son invention.

Séance du lundi 14 juin.

M. Veillon demande des commissaires pour un *nouveau système de correspondance secrète télégraphique.*

M. Thenard lit de nouvelles observations sur l'eau oxigénée. (*Voyez* le Cahier précédent.)

M. Deschamps fait un rapport sur un projet d'ouvrage sur l'allaitement, par M. Larche.

M. Chevreul lit un *Mémoire sur le beurre de vache.* (Nous le ferons connaître prochainement.)

M. Dupin lit un *Mémoire sur la population de l'Angleterre.*

Séance du lundi 21 juin.

M. Frey adresse des substances minérales qui lui paraissent avoir été formées dans des vaisseaux clos par la combinaison de certains gaz.

Une autre lettre de M. Frey sur les animaux qu'il croit aussi nés dans des vaisseaux clos est renvoyée aux mêmes commissaires.

M. Dutrochet adresse un *acte notarié sur des expériences relatives à l'action des corps animés sur la boussole.*

M. de Barbançois dépose un *Mémoire sur les causes des phénomènes électriques.*

De *nouveaux détails* adressés par M. Cachin *sur la digue de Cherbourg* sont renvoyés à l'examen des anciens commissaires.

L'Académie reçoit un *Mémoire sur les causes des événemens arrivés aux machines à vapeur.*

Un membre (M. de Laplace) propose de demander au Ministre de l'Intérieur les moyens de continuer le travail que l'Académie faisait chaque année sur la population de la France. Cette proposition est adoptée.

L'Académie décide que les pièces qui auront remporté les prix proposés par l'Académie pourront être insérées dans le Recueil de ses Mémoires.

M. Dupin lit une Note en réponse aux objections qui lui ont été faites dans la séance précédente.

M. Duméril, au nom d'une commission, fait un rapport sur le *Mémoire* présenté par M. Deville, au sujet du *cholera morbus* qui a régné au Bengale pendant l'été de l'année dernière.

Les caractères de cette maladie, suivant M. Deville, étaient : vomissemens répétés d'une matière verte ou d'une humeur plus foncée verdâtre, brune et quelquefois noire; en même temps déjections alvines fréquentes et semblables aux matières rendues par le haut; sentiment d'une douleur vive, déchirante et brûlante dans l'estomac et les intestins; anxiétés, soif ardente, ventre dur et tendu, urines rares, pouls intermittent et quelquefois imperceptible; syncopes, sueurs froides, yeux fixes, délire et convulsions. Quelques heures, un jour

ımerce, est en petites pail-
ou moins sale. La saveur
ient une quantité assez
es matières terreuses
ant sans doute des
des propriétaires
'a assuré qu'on
umise à l'éva-
ffert à 3 fr.
quantité

ché à
ane.
de

l'acide bor
ficultés que
merce pa
concern
pour
de

R *l'Acide*

AR M. Robique

(Extrait.)

lement que l'acide borique du
rme en larges paillettes et son aspe
binaison avec de l'acide sulfurique
de soude ; mais je me suis convaincu
i que l'acide sulfurique, y sont tout-
L'acide borique tient sa forme cristal-
ttes d'une substance grasse qui accom-
inkal. L'acide du commerce devient,
la fusion, et ne cristallise plus en
ême en lui ajoutant une proportion
sulfurique. L'albumine paraît aussi
e faire cristalliser l'acide borique en
je me suis assuré que cet acide est sus-
ter des combinaisons avec différentes
quérir par là de nouveaux caractères.
rdinairement à un prix fort inférieur
n a un grand avantage à en extraire

Le nouveau métal, que je désignerai par le nom de vodan ou *vodanium* (de celui d'une ancienne divinité des Germains), a une couleur d'un jaune de bronze pâle, semblable à celle du cobalt arsénical : sa densité est de 11,470.

Il est malléable, aussi dur que la chaux fluatée, très attirable à l'aimant; sa cassure est crochue.

A l'air, il conserve son éclat; mais, par la chaleur, il se change en un oxide noir.

Ses dissolutions dans les acides sont blanches, tirant un peu au jaune de vin. Ses carbonates hydratés sont également blancs. Le précipité obtenu par l'ammoniaque caustique est d'un bleu d'indigo pâle. Les phosphates et les arséniates alcalins ne produisent point de précipité dans ses dissolutions saturées : il en est de même de l'infusion de noix de galle. Le zinc précipite de sa dissolution muriatique une poudre noire métallique. Le précipité produit par le prussiate triple de potasse est d'un gris de perle.

L'acide nitrique dissout également bien le métal et son oxide; la dissolution cristallise en aiguilles blanches déliquescentes.

Mon ami Breithaupt regarde le minéral qui contient le nouveau métal comme une pyrite; il lui a donné en conséquence le nom de *pyrite de Vodanium.* Voici quels sont ses caractères extérieurs :

Cette substance est tantôt *éclatante*, tantôt *peu éclatante*, d'un éclat métallique.

Sa couleur est un *blanc d'étain très-sombre*, qui, en se ternissant, devient *grise* et *brune à la surface.*

On ne l'a encore trouvée qu'*en masse*; elle est le
s souvent très-fendillée.

Sa cassure est *inégale*, *à gros grains* et *à petits grains*.
s fragmens sont de forme indéterminée, à bords peu
gus.

Elle est plus dure que la chaux fluatée, et un peu
oins que l'apatite, *demi-dure*, aigre, peu difficile à
asser, pesante. *Pes. spec.* 5.192. (*Annalen der Physik*.
X. 99.)

SUR *l'Acide borique*.

PAR M. ROBIQUET.

(Extrait.)

ON croit généralement que l'acide borique du com-
merce ne doit sa forme en larges paillettes et son aspect
acré qu'à sa combinaison avec de l'acide sulfurique
u avec du sulfate de soude; mais je me suis convaincu
ue ce sulfate, ainsi que l'acide sulfurique, y sont tout-
fait accidentels. L'acide borique tient sa forme cristal-
e en larges paillettes d'une substance grasse qui accom-
gne toujours le tinkal. L'acide du commerce devient,
effet, noir par la fusion, et ne cristallise plus en
ges paillettes, même en lui ajoutant une proportion
nsidérable d'acide sulfurique. L'albumine paraît aussi
oir la propriété de faire cristalliser l'acide borique en
ges paillettes, et je me suis assuré que cet acide est sus-
tible de contracter des combinaisons avec différentes
stances, et d'acquérir par là de nouveaux caractères.
Le tinkal étant ordinairement à un prix fort inférieur
borax raffiné, on a un grand avantage à en extraire

l'acide borique ; mais cette opération offre quelques d
ficultés que l'on évite par le procédé suivant : on co
mence par brasser le tinkal avec de l'acide sulfuriq
concentré : un huitième de celui qui doit être emplo
pour la décomposition suffit. Après vingt-quatre heur
de contact, on fait la dissolution de tinkal : on pe
alors la clarifier et la filtrer avec la plus grande facilit
mais elle est d'une teinte jaunâtre assez foncée.
charbon animal détruit cette matière colorante ass
complètement, et cependant on ne peut se servir de
moyen pour obtenir l'acide borique tel qu'on le des
dans le commerce ; car alors il se cristallise en plaq
plus ou moins épaisses et assez denses ; il est presq
transparent et n'a rien de ce feuilleté léger et argen
qu'on y recherche. Il paraît par conséquent que le ch
bon animal enlève avec la matière colorante la tota
de la substance grasse, dont une portion serait nécessa
pour faire cristalliser l'acide borique en larges feuil
nacrés. Néanmoins, si l'on commence par séparer
charbon animal des sels calcaires qu'il contient, en
faisant digérer avec de l'acide hydrochlorique, qu'on
lave bien ensuite et qu'on le fasse sécher, il n'enlève
plus toute la matière grasse restée dans la dissolution
tinkal, et l'acide borique qu'on obtiendra aura tous
caractères qu'on lui recherche dans le commerce.

On n'aura bientôt plus besoin pour préparer
acide d'avoir recours au borax ou au tinkal. Dep
plusieurs années on s'occupe de l'extraction de l'ac
borique contenu dans certains lacs de la Toscane,
déjà cette exploitation a produit des résultats assez av
tageux pour faire espérer un succès complet. Cet aci

tel qu'on le reçoit dans le commerce, est en petites paillettes micacées, d'un gris plus ou moins sale. La saveur en est légèrement amère. Il contient une quantité assez notable d'un sulfate alcalin, quelques matières terreuses et un peu d'oxide de cuivre provenant sans doute des vases dans lesquels on l'a préparé. Un des propriétaires des lacs de Cherchiajo, M. Dubrouzet, m'a assuré qu'on en retirait environ 2 pour 100 de l'eau soumise à l'évaporation. Une maison de Livourne me l'a offert à 3 fr. le kilogramme rendu à Paris, en aussi grande quantité qu'on pourrait le desirer.

Il est étonnant que l'on n'ait pas encore cherché à fabriquer du borax avec l'acide borique de la Toscane. D'après les essais que j'ai faits, 100 kil. de cet acide donnent 150 kil. de borax, et exigent 200 kil. de sous-carbonate de soude pour fournir une cristallisation convenable. Les eaux-mères contiennent un grand excès de carbonate sans lequel, non-seulement la cristallisation serait confuse et en croûte, mais une grande partie du borax produit resterait en dissolution. En évaluant les 100 kil. d'acide à 300 fr., les 200 kil. de carbonate de soude à 140 fr., et les frais de fabrication à 15 fr., le kilogramme de borax reviendrait seulement à 3 fr.; tandis que le prix moyen du borax raffiné du commerce est de 6 fr. Malgré cette grande différence de prix, une fabrique de borax pourrait bien ne pas réussir si on ne parvenait à imiter celui du commerce. En général, ceux qui consomment ce sel recherchent moins de la blancheur que cette espèce d'onctuosité qu'il doit à une portion restante de matière grasse du tinkal. Les joailliers et les bijoutiers veulent de plus que les cristaux

soient isolés, un peu volumineux et point glaceux : te est celui de Hollande (1). (*Journ. de Pharm.* V. 258; 265.)

Sur *le Fer oxidulé.*

Par M. Robiquet.

Ayant eu occasion d'examiner comparativement les oxides de fer natûrels, et ceux que nous préparons dans nos laboratoires, j'ai observé que du fer oxidulé octaèdre, extrait d'une stéatite, et parfaitement débarrassé de sa gangue, ne donnait point un oxide d'une belle couleur rouge; mais qu'il acquérait une teinte de rouille, et qu'il la conservait, quelque prolongée que soit d'ailleurs l'action de l'acide. J'ai nécessairement inféré de cette observation que l'oxide employé n'était pas parfaitement pur, et méritait d'être examiné avec soin.

---

(1) Il sera facile de donner au borax artificiel la même apparence qu'au borax naturel, en lui ajoutant une proportion convenable de tinkal, qui fournira la matière grasse nécessaire à sa cristallisation. Une huile déjà saponifiée remplira sans doute le même objet. Le prix de 3 fr. auquel M. Robiquet a trouvé que le borax lui revenait, doit être évalué plus bas; car les eaux-mères peuvent être employées pour une opération subséquente. L'acide borique étant un acide très-faible, on le saturerait plus facilement en employant la soude rendue caustique par la chaux : reste à savoir si ce procédé serait plus économique. R.

On sait que le titane a été assigné comme accompagnant fréquemment le fer dans ses divers états, et principalement dans celui qu'on retrouve dans les déjections volcaniques ; on se rappelle aussi que M. Cordier publia, en 1807 et 1808, deux Mémoires, desquels il résultait que presque toutes les roches volcaniques contenaient une plus ou moins grande quantité de cette combinaison de fer oxidulé et de titane : cet habile géologue en a déduit d'une manière générale, que cette même combinaison appartenait exclusivement aux produits volcaniques, et devait être distinguée du fer oxidulé ordinaire, par la dénomination particulière de *fer oxidulé titanifère* ; dénomination qui lui a été conservée depuis cette époque. Cependant le fer oxidulé extrait des roches stéatiteuses de la Corse, traité immédiatement par l'acide muriatique, s'y dissout complètement : cette dissolution, évaporée à siccité et à une chaleur modérée, fournit un résidu qui, repris par l'eau, laisse une matière pulvérulente blanchâtre. Cette poudre, fondue avec une petite quantité de potasse, se dissout ensuite dans l'acide muriatique, et présente tous les caractères d'une dissolution de titane. J'en ai séparé ainsi, par un traitement convenable, près de 6 pour 100 du fer oxidulé employé.

Il paraît donc, d'après cela, que le titane accompagne presque constamment le fer oxidulé, et que celui qu'on retrouve dans les produits volcaniques ne diffère pas essentiellement de celui qui fait partie des terrains primitifs, et ne doit pas être conséquemment distingué par une dénomination particulière.

Je crois qu'il serait intéressant d'examiner, sous ce

nouveau rapport, les différentes modifications des oxide de fer naturels : on en déduirait probablement une classification plus satisfaisante que celle qu'on possède maintenant. (*Journ. de Pharm.* V. 265.)

SUR *la Préparation de l'eau oxigénée.*

PAR M. THENARD.

LA préparation de l'eau oxigénée exige quelques précautions sans lesquelles on ne réussit qu'imparfaitement. Pour n'en omettre aucune, je vais décrire le procédé dans le plus grand détail.

1°. L'on doit commencer par se procurer du nitrate de baryte bien pur, exempt surtout de fer et de manganèse : le plus sûr moyen d'y parvenir est de dissoudre le nitrate dans l'eau, d'y ajouter un petit excès d'eau de baryte, de filtrer la liqueur et de la faire cristalliser.

2°. Lorsqu'on s'est procuré du nitrate bien pur, il faut le décomposer par la chaleur pour en extraire la baryte. Cette décomposition ne doit point être faite dans une cornue de grès parce que celle-ci contient trop d'oxide de fer et trop d'oxide de manganèse : l'on doit se servir d'une cornue de porcelaine bien blanche. L'opération peut avoir lieu sur quatre à cinq livres de nitrate à-la-fois : elle dure environ trois heures. La baryte qui en provient est, à la vérité, unie à une quantité assez forte de silice et d'alumine ; mais du moins il ne s'y

trouve que des traces de manganèse et de fer, et c'est un point essentiel.

3°. La baryte réduite, au moyen d'un couteau, en morceaux de la grosseur de l'extrémité du pouce, doit être ensuite placée dans un tube de verre luté. Ce tube peut être assez long et d'un diamètre assez large pour contenir un kilogramme, et même un kilogramme et demi de matière. On l'entoure de feu, de manière à le faire rougir légèrement, et l'on y fait arriver un courant de gaz oxigène sec. Quelque rapide que soit le courant, le gaz est complètement absorbé, si bien que, quand le gaz se dégage par le petit tube qui doit faire suite à celui qui contient la base, l'on peut en conclure que le deutoxide de barium est fait : il est bon pourtant de soutenir encore le courant pendant sept à huit minutes. Le tube étant en grande partie refroidi, on en retire le deutoxide et on le conserve dans un flacon bouché : il est blanc-gris.

4°. On prend, d'une part, une certaine quantité d'eau, par exemple, 2 décilitres, à laquelle on ajoute assez d'acide hydrochlorique pur et fumant pour dissoudre environ 15 grammes de baryte : la liqueur acide est versée dans un verre à pied, et le verre entouré de glace, que l'on renouvelle à mesure qu'elle fond. D'une autre part, l'on prend 12 grammes de deutoxide; on les humecte à peine, et on les broie successivement dans un mortier d'agate ou de verre. A mesure qu'on les met en pâte fine, on les enlève avec un couteau de buis, et on les verse dans la liqueur : bientôt ils s'y dissolvent sans effervescence, surtout par l'agitation. Lorsque la dissolution est opérée, tout en la remuant avec une baguette de verre, l'on y fait tomber de l'acide

sulfurique pur et concentré, goutte à goutte, jusqu'à ce qu'il y en ait un léger excès ; ce que l'on reconnaît par la propriété qu'a le sulfate de baryte qui se forme tout-à-coup, de se déposer facilement en flocons. Alors on dissout, comme la première fois, une nouvelle quantité de deutoxide dans la liqueur, et de nouveau on en précipite la baryte par l'acide sulfurique. Le deutoxide est toujours facile à distinguer du sulfate. Il est important de mettre assez d'acide sulfurique pour précipiter toute la baryte, et de ne pas en mettre trop : si l'on n'en mettait point assez, la liqueur filtrerait trouble et lentement : si l'on en mettait trop, la filtration se ferait aussi très-mal. En atteignant le point convenable que nous venons d'indiquer, la filtration se fait avec la plus grande facilité. Lorsqu'elle est faite, il faut verser sur le filtre une petite quantité d'eau ordinaire que l'on réunit à la liqueur primitive : de cette manière, celle-ci ne change pas sensiblement de volume ; puis, pour ne rien perdre, il est nécessaire d'étendre le filtre égoutté sur un plan de verre, d'enlever la matière, de la délayer dans une nouvelle quantité d'eau toujours très-petite, et de filtrer le tout. Les eaux que l'on obtiendra ainsi seront peu chargées : l'on s'en servira pour laver les filtres suivans.

Cette opération étant terminée, l'on en fait une toute semblable, c'est-à-dire, que l'on dissout du deutoxide de barium dans la liqueur, qu'on y ajoute de l'acide sulfurique pour en précipiter la baryte, etc., et que l'on ne filtre qu'après avoir fait deux dissolutions et deux précipitations. C'est sur ce nouveau filtre que l'on verse les eaux de lavage de l'opération précédente :

après quoi l'on en obtient de nouvelles avec la matière du nouveau filtre égoutté.

La seconde opération est suivie d'une troisième, la troisième d'une quatrième et ainsi de suite, jusqu'à ce que la liqueur soit assez chargée d'oxigène. En employant la quantité d'acide hydrochlorique indiquée, l'on peut traiter environ 90 à 100 grammes de deutoxide de barium : il en résulte une liqueur chargée de vingt-cinq à trente fois son volume d'oxigène. Si l'on voulait l'oxigéner davantage, il faudrait y ajouter de l'acide hydrochlorique.

Plusieurs fois je suis parvenu, par ce moyen, à charger la liqueur de 125 volumes d'oxigène : seulement je l'acidifiais assez tout de suite pour pouvoir y dissoudre trente grammes de deutoxide, en ayant soin d'ailleurs de maintenir l'acidité à tel point qu'à la fin de l'opération je pouvais encore dissoudre une vingtaine de grammes de deutoxide sans l'intermède de l'acide sulfurique; mais j'ai reconnu que quand la liqueur renfermait à-peu-près 50 volumes d'oxigène, elle laissait dégager assez de gaz, du jour au lendemain, pour qu'il n'y eût point d'avantage à continuer de l'oxigéner par le deutoxide.

5. Lorsque la liqueur est oxigénée au point que l'on desire, on la sur-sature de deutoxide en la tenant toujours dans la glace. Bientôt il s'en sépare d'abondans flocons de silice et d'alumine, ordinairement colorés en jaune brun par un peu d'oxide de fer et d'oxide de manganèse. Le tout doit être promptement jeté sur une toile; on y enveloppe la matière, et on finit par l'y comprimer fortement. Cette opération ne peut être bien faite qu'à deux : il faut l'exécuter promptement; car, encore bien

qu'il n'y ait que peu d'oxide de manganèse, il suffit pour produire un dégagement assez considérable d'oxigène.

6°. Comme dans la liqueur filtrée à travers la toile il serait possible qu'il restât encore un peu de silice, de fer, de manganèse, et qu'il est nécessaire de précipiter toutes ces matières, on reprend la liqueur et on y ajoute en l'agitant, toujours entourée de glace, de l'eau de baryte goutte à goutte. Si la baryte étant en excès légèrement sensible au papier, il ne se produit point de précipité, c'est une preuve que tout l'oxide de fer et tout l'oxide de manganèse sont séparés. S'ils ne l'avaient point été complètement dans l'opération précédente, ils le seraient dans celle-ci.

A peine le seraient-ils qu'il faudrait tout de suite verser la liqueur sur plusieurs filtres (deux ou trois): l'oxide de manganèse en dégage tant de gaz qu'on ne saurait l'isoler trop vite. Quelquefois même l'on est obligé d'employer des filtres doubles parce que le gaz, soulevant le papier, déchire ceux qui sont simples. Quelquefois aussi, pour éviter les pertes, il faut remettre sur un autre filtre les petites portions de liqueur qui restent sur les filtres primitivement employés. D'ailleurs tous les filtres doivent être comprimés dans une toile pour les égoutter. Ceux qui contiennent des quantités notables d'oxide de manganèse s'échauffent au point de brûler la main.

7°. La liqueur, ne contenant plus que de l'acide hydrochlorique, de l'eau et de l'oxigène, est remise dans le même vase, et maintenue à zéro, comme à l'ordinaire, par de la glace. Dans cet état, l'on y verse

peu à peu, en l'agitant, du sulfate d'argent pur que l'on se procure au moyen de l'oxide d'argent et de l'acide sulfurique. Il est indispensable que le sulfate ne contienne point d'oxide libre. Le sulfate est décomposé par l'acide hydrochlorique, et de cette décomposition résulte de l'eau, du chlorure d'argent qui se précipite, et de l'acide sulfurique qui remplace l'acide hydrochlorique. Quand la quantité de sulfate d'argent est assez grande pour que la décomposition de l'acide hydrochlorique soit complète, la liqueur devient limpide tout-à-coup : jusque là elle reste trouble. S'il faut qu'il n'y reste point d'acide hydrochlorique, il est nécessaire d'ailleurs qu'elle ne contienne point un excès de sulfate d'argent : on l'éprouvera donc successivement par le nitrate d'argent et par l'acide muriatique. Ces épreuves se font sur de très-petites quantités de liqueur.

Dès que la liqueur est bien préparée, on la jette sur un filtre qu'on laisse égoutter, et que l'on comprime dans une toile. Le liquide provenant de la compression est versé sur un nouveau filtre parce qu'il est un peu trouble.

8°. Les opérations précédentes ont eu pour objet d'obtenir une liqueur composée d'eau, d'oxigène et d'acide sulfurique. Il faut actuellement en séparer cet acide : à cet effet, on la verse dans un mortier de verre entouré de glace, et l'on y ajoute peu à peu de la baryte éteinte, bien délitée et bien broyée; on la broie de nouveau dans le mortier de verre, et lorsqu'on juge qu'elle est unie à l'acide, on en ajoute une autre partie, etc. Enfin, lorsque la liqueur fait à peine virer au rouge le papier de tournesol, on la filtre; on comprime le filtre dans une toile; puis, après avoir réuni les

deux liqueurs, on les agite et l'on en achève en même temps la saturation par de l'eau de baryte.

Il faut même verser un très-petit excès d'eau de baryte pour achever de séparer des traces de fer, et surtout de manganèse, que la liqueur pourrait encore contenir : bien entendu que la filtration devra être faite aussitôt après, en prenant les précautions précédemment indiquées. L'excès de baryte sera ensuite précipité par quelques gouttes d'acide sulfurique faible, et l'on s'arrangera de manière que la liqueur contienne plutôt un peu d'acide qu'un peu de base : celle-ci tend à dégager l'oxigène, tandis que l'autre rend la combinaison plus stable.

9°. Enfin, l'on mettra dans un verre à pied bien propre la liqueur très-claire, qui devra être regardée comme de l'eau oxigénée étendue d'eau pure ; le verre sera placé dans une large capsule aux deux tiers pleine d'acide sulfurique concentré : l'appareil sera introduit sous la cloche pneumatique, et l'on fera le vide. L'eau pure ayant beaucoup plus de tension que l'eau oxigénée, se vaporisera bien plus rapidement, de telle sorte, par exemple, qu'au bout de deux jours la liqueur contiendra peut-être deux cent cinquante fois son volume d'oxigène. Les observations suivantes ne doivent point être négligées.

Il faut agiter l'acide de temps en temps.

Il arrive quelquefois que, sur la fin de l'évaporation, la liqueur laisse dégager un peu de gaz ; ce que l'on reconnaît à l'ascension du mercure dans l'éprouvette. Ce dégagement est dû sans doute à des traces de matière étrangère qui reste dans la liqueur : on l'arrête par l'ad-

dition de deux à trois gouttes d'acide sulfurique extrêmement faible.

Quelquefois aussi la liqueur laisse déposer quelques flocons blanchâtres de silice. Il est bon de les séparer. La décantation, au moyen d'une pipette très-pointue, réussit bien : on perd à peine de la liqueur.

Tant que la liqueur n'est pas très-concentrée, l'évaporation a lieu tranquillement; mais lorsque l'eau oxigénée ne contient presque plus d'eau, il se produit souvent des bulles qui ne crèvent que difficilement. Au premier coup-d'œil, on croirait qu'il se dégage beaucoup de gaz oxigène : en examinant l'éprouvette, on verra qu'il n'en est rien. A peine montera-t-elle sensiblement dans l'espace de vingt-quatre heures; et encore cette ascension proviendra d'une petite quantité de gaz dégagé de l'acide sulfurique et appartenant à une portion d'eau oxigénée vaporisée.

On reconnaît que la liqueur est concentrée le plus possible lorsqu'elle donne quatre cent soixante-quinze fois son volume de gaz, sous la pression de $0^m.76$ et à la température de 14°. Cette épreuve se fait promptement en prenant une petite pipette, marquant sur la tige un trait, la remplissant de liqueur jusqu'à ce trait, étendant de douze volumes d'eau cette liqueur qui, dans mes expériences, était toujours de cinq centièmes de centilitre, et décomposant par l'oxide de manganèse une quantité déterminée de cette même liqueur aussi étendue. Cette dernière expérience, que j'ai déjà décrite, consiste à prendre un tube de verre fermé à la lampe par un bout, long de 15 à 16 pouces, large de 7 à 8 lignes, à le remplir de mercure à un pouce près, à le renverser,

à y introduire la portion de liqueur étendue sur laquelle l'analyse doit être faite, en se servant pour cela d'une pipette dont la capacité est connue ; à remplir ensuite exactement le tube avec de l'eau qui servira à laver la pipette, ou bien en partie avec du mercure, à boucher le tube avec un obturateur enduit de suif, à le retourner et à y faire passer un peu d'oxide de manganèse délayé dans l'eau. L'oxigène se dégagera à l'instant; il ne s'agira plus ensuite que de fermer le tube avec la main, de l'agiter en divers sens pour multiplier les points de contact entre la liqueur et l'oxide, et de mesurer le gaz.

ANALYSE *chimique de l'Euclase.*

PAR M. BERZELIUS.

JE dois à la générosité de M. de Souza, ancien ministre plénipotentiaire et envoyé extraordinaire de Portugal en France, un échantillon de cette pierre rare, que j'ai employé pour une expérience analytique. J'ai traité la pierre porphyrisée avec du carbonate de soude dans un creuset de platine exposé au feu. La masse a été reprise par de l'acide muriatique étendu ; elle a laissé une poudre blanche légère que j'ai séparée : le liquide a été évaporé à siccité et traité comme on fait ordinairement dans l'analyse de l'émeraude. La poudre blanche non dissoute par l'acide muriatique ressemblait beaucoup à de l'oxide de tantale. Je l'ai traitée par du sur-sulfate de soude au feu ; une partie s'y est dissoute ;

mais comme la masse saline traitée par de l'eau s'y dissolvait sans résidu, ce ne pouvait être de l'oxide de tantale. Je fis passer dans la dissolution un courant de gaz hydrogène sulfuré; il y eut un précipité jaunâtre qui, après avoir été grillé et pesé, se laissa réduire entièrement au chalumeau en donnant un globule d'étain. Le liquide précipité par le gaz hydrogène sulfuré donna avec de l'ammoniaque un précipité soluble sans résidu dans le carbonate d'ammoniaque : c'était de la glucine. J'ai cru devoir noter cette propriété de la glucine de donner avec l'oxide d'étain une combinaison qui résiste long-temps à l'action des acides, parce que, dans l'analyse de la gadolinite de Kovarfurt, la même chose m'est arrivée avec une combinaison entre la glucine et les oxides de manganèse et de cérium. Ces combinaisons se forment par l'opération analytique même et embarrassent beaucoup l'opérateur. J'ai trouvé cependant que, moyennant une action prolongée de l'acide muriatique concentré, elles se laissent redissoudre.

J'ai obtenu de l'euclase :

Silice,	43,22;
Alumine,	30,55;
Glucine,	21,78;
Oxide de fer,	2,22;
Oxide d'étain,	0,70.
	98,47.

En comparant les différentes quantités d'oxigène contenues dans les trois terres, on trouve que celle de la glucine est 6,8, celle de l'alumine 14,25, et enfin celle

de la silice 21,84 ; ce qui se rapproche tellement du rapport 1, 2 et 3, que l'on a droit de rejeter les différences sur les erreurs inséparables de l'observation.

Dans ce cas, chacune des deux bases est combinée avec une quantité de silice dont l'oxigène est égal en quantité avec celui des bases, et l'euclase est composée d'un atome de silicate de glucine et de deux de silicate d'alumine; ce qui se laisse représenter par $GS+2AS$. L'émeraude étant GS^4+2AS^2, on trouve que ces deux minéraux ne sont distingués l'un de l'autre que par la différente saturation de leurs bases avec la silice.

En calculant la composition de l'euclase d'après la formule que nous venons de citer, on obtient :

Silice,	44,33 ;
Alumine,	31,83 ;
Glucine,	23,84.
	100,00.

On trouve des traces de l'oxide d'étain dans les émeraudes de Finbo près de Fahlun, et on retrouve ces mêmes traces d'oxide d'étain dans un minéral de l'autre hémisphère qui contient aussi de la glucine. Cette circonstance est un fait qui mérite d'être ajouté aux autres du même genre qui ont été observés par les géologues.

(Extrait des *Annales du Muséum d'histoire naturelle.*)

Sur *la Comète à courte période de* 1818.

Cette comète a été découverte à Marseille, le 26 novembre 1818, par M. Pons. M. Bouvard présenta, au Bureau des Longitudes, les premiers élémens *paraboliques* de son orbite, dans la séance du 13 janvier 1819. Un membre fit alors remarquer qu'il existait entre ces élémens et ceux de la comète de 1805 assez de ressemblance pour qu'il fût naturel de supposer qu'ils appartenaient au même astre. M. Enke, directeur-adjoint de l'Observatoire du Seeberg, a montré, postérieurement, que les observations faites dans les années 1818 et 1819 sont exactement représentées par une ellipse dont le demi-grand axe est égal à 2,213, la distance du soleil à la terre étant prise pour unité. (*Voyez* tome X, p. 228.) Il restait encore à examiner de nouveau les observations de 1805. M. Enke vient de terminer ce travail, et a trouvé les élémens elliptiques suivans :

Passage de la comète au périhélie en 1805. Nov. 21j,5064 (temps moyen de Paris.)

Longitude du périhélie,	156°.47′.19″	Ces deux longitudes sont comptées de l'équinoxe moyen de 1805.
Longitude du nœud,	334°.20′. 5″	
Inclinaison de l'orbite,	13°.33′.30″;	
Log. distance périhélie,	9,5320168;	
$\frac{1}{2}$ grand axe,	2,213;	
Excentricité,	0,8462;	
Révolution,	1202jours,5.	

Tels devraient être encore les élémens de cette comète, en 1819, si elle n'avait pas été dérangée dans sa

marche par l'attraction des corps célestes dans le voisinage desquels elle est passée; mais ces dérangemens, qu'on appelle en astronomie des perturbations, peuvent être calculés *à priori*. En modifiant ainsi les élémens de 1805, M. Enke trouve qu'en 1819 la comète *a dû* se mouvoir dans l'orbite suivante :

Passage au périhélie. Janvier, 27^j,28 (temps moyen à Paris.)

Longitude du périhélie,	156°.59'.30";
Longitude du nœud,	334°.31'. 0";
Inclinaison,	13°.36'.30";
Angle de l'excentricité,	58°. 3'. 0";
Demi-grand axe,	2,214;
Temps de la révolution,	1203^{jours},3.

Les derniers élémens *déduits des seules observations faites en* 1818 *et* 1819 sont :

Passage au périhélie. Janvier 27^j,25 (temps moyen à Paris.)

Longitude du périhélie,	157°. 5'.33";
Longitude du nœud,	334°.43'.37";
Inclinaison,	13°.38'.42";
Angle de l'excentricité,	58°. 6'.45";
Demi-grand axe,	2,213;
Révolution,	1202^j,54.

Les longitudes sont rapportées à l'équinoxe moyen de 1819.

Les élémens elliptiques auxquels conduisent les observations faites en 1805 diffèrent, comme on voit, assez peu de ceux qn'on a déduits des seules observations de 1818 et 1819, pour qu'on puisse attribuer les discordances à de

imples erreurs qui se seront glissées dans la détermination des ascensions droites et des déclinaisons : il demeure donc constant que la comète de 1818 n'est autre chose que celle qui avait déjà été observée en 1805. M. Olbers vient de faire la remarque curieuse que la comète de 1795 est encore apparemment le même astre ; mais il sera nécessaire d'attendre la discussion nouvelle des observations de 1795 que M. Enke vient d'entreprendre, avant de pouvoir se prononcer avec quelque certitude à cet égard.

Les orbites dont nous venons de rapporter les élémens prouvent que la nouvelle comète se trouvera en opposition avec le soleil dans le mois d'août 1819. Elle aura, durant ce mois, de 317°.20′ à 306° d'ascension droite, et sa déclinaison australe demeurera comprise entre 26° et 26°.48′. Il est malheureusement à craindre qu'on ne puisse pas alors l'apercevoir ; car cet astre, qui était déjà très-faible en janvier dernier, vers son passage au périhélie, à une époque où sa distance à la terre était fort petite, sera, en août, environ deux fois plus loin que le soleil. Il résulte des mêmes élémens que dans le mois de décembre prochain, la distance de la comète à la terre surpassera déjà 140 millions de lieues.

SUR *les deux Comètes de* 1819.

LA première de ces deux comètes a été découverte, le 12 juin dernier, par M. Pons, astronome adjoint à l'Observatoire de Marseille. Elle est invisible à la vue simple, et n'a aucune apparence de queue ; son noyau est peu marqué. M. Blanpain a adressé au Bureau des Longitudes quatre observations de cet astre faites les 13, 14, 16 et 19 juin. M. Gambart fils, qui cultive l'astronomie

avec beaucoup de zèle et de succès, en a déduit les élémens paraboliques suivans :

Passage au périhélie, le 26 juin, à $10^h.6'$ du soir, temps moyen.

Distance périhélie	0,88117;
Longitude du périhélie	255°.51′;
Longitude du nœud	107°.46′;
Inclinaison de l'orbite	8°.26′.
Sens du mouvement héliocentrique,	direct.

Ces élémens éprouveront probablement quelque modification lorsqu'on aura observé la comète sur un plus grand nombre de points de son orbite : en attendant, M. Gambart en a tiré la conséquence que, le 24 juillet, la distance de cet astre à la terre n'était que la *vingtième* partie environ de celle du soleil.

La seconde comète de 1819, celle qui a tant excité l'attention du public, s'est montrée dans les premiers jours de juillet. Depuis cette époque, on l'a observée à son passage au méridien inférieur, toutes les fois que les circonstances atmosphériques l'ont permis; les élémens approchés de son orbite parabolique, d'après les calculs de M. Bouvard, paraissent être les suivans :

Passage au périhélie, le 3 août, à 2 heures après midi.

Distance périhélie	0,53459;
Longitude du nœud	278°.39′;
Longitude du périhélie. . .	3°.15′;
Inclinaison de l'orbite . . .	45°.15′.
Mouvement héliocentrique,	direct.

Ces élémens représentent avec assez de précision les mouvemens de la comète en longitude; pour les latitudes, au contraire, il y a des différences sensibles entre les résultats du calcul et ceux de l'observation : d'où il suit que la position du nœud et la valeur de l'inclinaison n'ont pas encore toute l'exactitude desirable. Peut-être, au reste, ne suffit-il pas, dans le cas actuel, de supposer que la comète se meut dans une parabole, et faudra-t-il avoir recours à une orbite elliptique. Les calculs dont M. Bouvard est maintenant occupé éclairciront ces doutes, et

apprendront en même temps si la comète a éprouvé dans sa marche quelque dérangement appréciable par l'action de la terre : quoi qu'il en soit, les élémens qui précèdent sont déjà suffisans pour permettre d'assurer que cet astre ne ressemble à aucune des comètes anciennement observées.

Dans le moment de son apparition, la comète qui nous occupe n'était pas très-éloignée ; le 29 juin, par exemple, sa distance à la terre ne surpassait guère 0,05, c'est-à-dire, le *vingtième* de la distance du soleil : le 3 juillet, elle n'était encore que de 0,1. Maintenant (le 24 juillet) cet astre est déjà *douze* fois plus loin que le 29 juin. Il est donc facile de concevoir pourquoi il s'est si rapidement affaibli.

On suppose assez généralement que les queues des comètes se composent de vapeurs légères transportées à de grandes distances par l'impulsion des rayons solaires. Dans cette hypothèse, la queue doit être presque diamétralement opposée au soleil ; ce qui est conforme aux observations. Le 3 juillet, vers *minuit*, la queue de la comète actuelle était, de plus, à-peu-près verticale ; mais cette circonstance particulière, que le public a beaucoup remarquée, est une conséquence immédiate du principe que nous venons d'énoncer, et tient uniquement à ce que la comète et le soleil avaient alors des ascensions droites peu inégales, et que ces deux astres arrivaient au méridien vers la même époque. La comète s'étant beaucoup déplacée maintenant, la ligne qui joint son centre à celui du soleil n'est plus verticale à minuit, et la queue, dont cette ligne indique constamment la direction, est, à la même heure, sensiblement inclinée à l'horizon. La longueur absolue de la queue peut facilement se déduire de l'angle qu'elle soutand et de la distance de la comète à la terre : on trouve ainsi que, le 3 juillet, cette longueur n'était pas tout-à-fait de 700 mille lieues. La matière de la queue et celle de la chevelure étaient, comme d'habitude, d'une rareté extrême ; la lumière des plus petites étoiles n'éprouvait pas d'affaiblissement sensible en traversant la nébulosité, même dans le voisinage du noyau.

1	762,62	+19,4	53	762,30	+19,4	49	761,64	+19,5	45	761,52	+14,5	59	+19,4	+ 7,5	Nuageux.	S. O.
2	760,75	+19,5	65	760,24	+23,5	50	759,09	+23,5	45	758,83	+16,2	69	+23,5	+11,2	Très-nuageux.	S. E.
3	759,25	+20,7	51	759,00	+23,5	50	758,73	+23,5	48	758,96	+16,7	81	+23,5	+13,5	Nuageux.	O.
4	757,88	+24,2	57	756,77	+28,5	51	756,03	+21,9	62	755,17	+14,4	90	+28,5	+11,5	Nuageux.	S.
5	759,48	+13,4	79	759,76	+13,5	72	759,67	+15,2	71	759,34	+13,7	80	+15,2	+11,7	Pluie.	N.
6	758,11	+19,0	63	757,77	+20,0	54	756,30	+22,7	53	755,22	+15,6	83	+22,7	+12,0	Couvert.	N. O.
7	752,74	+18,0	72	751,50	+23,5	61	750,37	+24,0	59	751,20	+14,3	93	+24,0	+11,5	Nuageux.	S.
8	749,40	+19,4	64	748,03	+21,1	58	747,18	+19,6	69	747,15	+14,1	88	+21,1	+12,2	Très-nuageux.	S.
9	749,13	+17,0	70	749,83	+19,2	57	749,92	+20,0	50	750,75	+14,5	70	+20,0	+10,4	Très-nuageux.	S. O.
10	752,27	+13,9	96	753,30	+16,5	76	753,77	+17,7	55	755,36	+12,8	88	+17,8	+10,2	Couvert.	O.
11	759,30	+17,9	59	759,41	+18,1	53	758,88	+19,2	47	759,32	+12,7	70	+19,2	+10,7	Très-nuageux.	O.
12	758,87	+18,9	57	758,60	+21,0	48	758,08	+19,2	49	759,12	+12,0	86	+21,0	+ 9,0	Très-nuageux.	S. O.
13	760,28	+16,5	65	760,00	+20,0	50	759,36	+19,5	45	759,16	+14,0	69	+20,0	+ 9,2	Nuageux.	O.
14	758,60	+18,7	58	757,50	+23,0	50	756,33	+22,2	45	756,50	+13,9	89	+23,0	+ 9,4	Nuageux.	S. O.
15	754,90	+16,2	74	754,50	+18,2	63	753,78	+18,7	59	754,12	+14,3	80	+18,8	+11,0	Couvert.	O.
16	756,30	+16,5	61	756,57	+16,5	54	756,55	+17,9	53	757,80	+12,4	75	+17,9	+ 9,5	Très-nuageux.	O. N. O.
17	758,10	+15,7	66	757,73	+17,7	59	757,18	+18,4	55	757,86	+15,3	70	+18,4	+ 7,5	Très-nuageux.	N.
18	755,65	+12,7	84	755,12	+13,1	94	754,92	+13,4	97	755,64	+14,5	98	+13,4	+12,5	Couvert.	N. O.
19	756,60	+19,0	79	756 40	+22,6	65	756,00	+25,2	52	758,00	+18,9	80	+25,2	+14,0	Nuageux.	N. O.
20	760,25	+18,1	55	760,27	+21,2	52	760,13	+22,6	42	761,85	+18,3	59	+22,6	+14,5	Légers nuages.	N.
21	762,14	+17,5	58	761,50	+19,6	47	760,16	+21,4	42	759,83	+16,0	49	+21,4	+10,0	Nuageux.	N. E.
22	758,83	+21,0	59	758,20	+23,2	50	757,37	+23,0	41	757,13	+16,4	64	+23,2	+10,2	Très-nuageux.	N. N. O.
23	758,67	+19,1	67	758,52	+19,5	59	758,44	+20,0	58	758,20	+14,4	85	+20,0	+11,0	Couvert.	N.
24	756,90	+21,6	58	756,20	+23,0	52	755,78	+22,2	54	755,00	+17,9	79	+23,0	+11,7	Très-nuageux.	O.
25	755,54	+19,7	62	755,20	+22,1	61	754,72	+23,2	57	753,20	+17,2	67	+23,5	+14,0	Nuageux.	S. O.
26	750,50	+18,4	77	751,12	+23,0	79	750,70	+21,5	79	751,58	+16,2	98	+23,0	+14,0	Couvert.	S. O.
27	752,44	+18,0	67	751,92	+19,[illegible]	61	751,70	+17,7	57	751,37	+13,8	96	+19,7	+13,0	Couvert.	S. O.
28	753,00	+17,2	57	752,28	+17,7	53	752,68	+17,8	57	754,87	+11,7	76	+17,8	+10,9	Très-nuageux.	O.S. O. f.
29	756,30	+15,4	66	756,90	+11,5	91	756,40	+17,2	60	756,78	+13,5	80	+17,2	+ 9,5	Grande pluie.	O.
30	754,50	+16,8	82	754,32	+19,4	75	753,73	+20,0	73	753,90	+16,2	99	+20,0	+12,7	Pluie par intervalles.	O.
1	756,14	+18,4	67	755,85	+20,9	58	755,27	+20,8	56	755,35	+14,7	80	+21,6	+11,2	Moyennes du 1 au 10.	
2	757,88	+17,0	66	757,61	+19,1	59	757,12	+19,6	54	757,94	+14,6	78	+20,0	+10,7	Moyennes du 11 au 20.	
3	755,88	+18,5	65	755,62	+19,9	63	755,17	+20,4	58	755,19	+15,3	78	+20,9	+11,7	Moyennes du 21 au 30.	
	756,64	+18,0	66	756,36	+20,0	60	755,85	+20,3	56	756,16	+14,9	79	+20,8	+11,2	Moyennes du mois + 16,0.	

SUITE

Des Expériences pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques qui servent de base aux calculs relatifs à la théorie des proportions chimiques.

PAR J. BERZELIUS.

Composition des acides de l'arsenic; leur capacité de saturation; oxide et sulfures d'arsenic.

LES expériences de la plupart des chimistes s'accordent, en général, en ce que l'arsenic absorbe un tiers de son poids d'oxigène pour devenir acide arsénieux, et la moitié pour devenir acide arsénique. Tels avaient aussi été les résultats de quelques expériences que j'avais faites là-dessus il y a long-temps (1). J'avais en même temps cru trouver que la capacité de saturation de l'acide arsénique était 16.66, et que par conséquent cet acide contenait deux fois autant d'oxigène que la base avec laquelle il était combiné; mais les mêmes observations qui m'engagèrent à un nouvel examen de la composition des acides du phosphore me firent entreprendre des expériences sur celle des acides de l'arsenic. Ces premières expériences me donnèrent des résultats inexacts. Je trouvai que la capacité de saturation de l'acide arsénique, dans ses combinaisons neutres, était 13.8, nombre qui n'était point dans un rapport sous-multiple de

(1) *Annales de Chimie*, ann. 1811, p. 15.

l'oxigène de l'acide, comme je l'avais trouvé dans d'autres acides. J'en conclus donc que les analyses avaient donné un résultat inexact, d'autant plus que M. Laugier avait trouvé que 100 p. d'arsenic se combinent avec 71.8 p. de soufre ; quantité qui ne s'accorde d'aucune manière avec les rapports ordinaires entre le soufre et l'oxigène dans les autres métaux. J'eus donc recours à la méthode analytique, puisqu'on s'était jusqu'ici toujours servi de la synthèse pour déterminer la composition de ces acides. Je mêlai de l'acide arsénieux avec du soufre, et je mis le mélange dans une cornue jusqu'à ce que l'acide fût entièrement converti en sulfure. 100 p. d'acide arsénieux avaient perdu en soufre et en oxigène 61 p., dont $30\frac{1}{3}$ devaient être de l'oxigène. En me servant de cette analyse comme base de mes calculs, et en admettant que l'arsenic forme l'acide arsénique avec une fois et demie autant d'oxigène, il s'ensuivait que dans les arséniates neutres l'acide contient trois fois l'oxigène de la base, et dans les sous-arséniates deux fois cette quantité. L'analyse du sulfure d'arsenic de M. Laugier s'accordait parfaitement avec la composition d'un oxide d'arsenic, dans lequel le radical devait être combiné avec la moitié de l'oxigène contenu dans l'acide, et dont il me réussissait de rendre l'existence probable. Cette coïncidence presque parfaite me surprit si agréablement que je jugeai peu nécessaire de répéter l'expérience analytique. Cependant cette expérience avait donné un résultat inexact, par une raison à laquelle je ne donnai point alors assez d'attention : c'est que l'expérience se fit dans une cornue où le mélange ne remplit tout au plus que la cinquième partie de sa capa-

cité; une partie du soufre s'oxida aux dépens de l'air de la cornue, et augmenta ainsi la perte en soufre considérablement.

Ayant trouvé que les acides du phosphore suivent d'autres lois que tous les autres acides que j'avais eu occasion d'examiner, il devint probable pour moi que les acides de l'arsenic pouvaient fort bien aussi suivre ces mêmes lois : cette idée me fit encore une fois reprendre l'examen de ces acides.

Composition quantitative des acides de l'arsenic. 100 p. d'arsenic métallique ont été acidifiées par de l'acide nitro-muriatique, et le liquide a été évaporé jusqu'à faire volatiliser les acides volatils. L'acide arsénique qui restait a été dissous par de l'eau aiguisée d'un peu d'acide nitrique, et l'on y a ajouté 400 p. d'oxide de plomb qui venait d'être rougi au feu. On a laissé ensuite le mélange digérer pendant quelques heures; on l'a évaporé à sec et chauffé au rouge jusqu'à ce qu'il ne se dégageât plus de vapeurs nitreuses. L'oxide de plomb y était ajouté pour que la présence de l'eau dans l'acide arsénique n'altérât point le résultat. L'expérience, plusieurs fois répétée, donna des résultats qui varièrent entre 150 et 152 p. d'acide arsénique produites avec 100 p. de métal. Cette expérience, quoique peu précise en elle-même, prouve cependant à-peu-près quelle est la dose d'oxigène absorbé.

2.2715 gr. d'acide arsénieux pur ont été fondus avec un poids égal de soufre pur, dans un petit appareil soufflé à la lampe de l'émailleur. La boule de cet appareil était entièrement remplie par la masse pulvérisée. Le gaz acide sulfureux passa par un long tube de

verre courbé en spirale, et dont l'ouverture était fermé par du papier à filtrer pour retenir les fleurs de soufre dont une petite quantité, sans cette précaution, aurait p suivre le gaz développé. On commença par chauffer l fond de la boule avec une très-petite flamme d'une lamp à huile; et par ce moyen, le dégagement de l'acide sul fureux commença au fond, avant que la surface eû atteint la température nécessaire pour allumer le soufre; et ainsi le gaz acide sulfureux remplaça le peu d'air atmosphérique dans les tubes avant qu'il fût décomposé. Ensuite on se servit d'une lampe à esprit-de-vin, et l'expérience fut continuée aussi long-temps qu'il se fit un dégagement de gaz; ce qui dura de cinq à six heures. L'appareil refroidi, et le gaz acide sulfureux étant remplacé par de l'air, on le pesa : il avait perdu 1.084 gr. en poids.

2g.203 d'acide arsénieux avaient donné, dans une expérience pareille, 1g.069 d'acide sulfureux. D'après ces deux expériences, dont la dernière a été faite avec un soin particulier, l'acide arsénieux contient 24.176 pour 100 d'oxigène.

Un gramme d'acide arsénieux dissous par de l'acide muriatique étendu fut précipité par un courant de gaz hydrogène sulfuré. On avait eu soin de faire bouillir le liquide un quart d'heure avant d'y introduire le gaz. Le precipité eut une couleur jaune de citron claire; il fut recueilli sur un filtre et bien lavé. Séché à une température un peu au-dessus de 100°, il pesait 1.245. D'après la quantité d'oxigène, absorbée par l'hydrogène du gaz hydrogène sulfuré, l'acide arsénieux doit contenir 24.218 pour 100 d'oxigène. D'après ces expériences

100 p. d'arsenic se combinent donc avec 31.884 p. d'oxigène, et non pas avec $33\frac{1}{3}$, comme on l'a cru jusqu'ici; et comme les expériences prouvent que 100 p. d'arsenic en absorbent plus de 50 p. pour devenir acide arsénique, il s'ensuit que le rapport de l'oxigène dans les deux acides de l'arsenic ne peut point être de 2 à 3. Il reste donc à essayer si le rapport trouvé entre l'oxigène de l'acide phosphoreux et celui de l'acide phosphorique, c'est-à-dire, de 3 à 5, n'a point lieu aussi pour les acides correspondans de l'arsenic. Dans ce cas, $3:5=31.884:53.14$. Si cela est ainsi, on a lieu de supposer que les acides de l'arsenic doivent s'écarter de la loi des combinaisons des corps oxidés, de la même manière que les acides du phosphore. Nous allons donc examiner la capacité de saturation des acides arsénique et arsénieux.

Capacité de saturation des acides de l'arsenic : arséniate de plomb. Une solution de nitrate de plomb fut mêlée avec une solution d'arséniate de soude, avec la précaution de ne pas en précipiter toute la quantité d'acide arsénique. Le précipité fut lavé, séché et rougi au feu. 10 grammes d'arséniate de plomb décomposés par de l'acide sulfurique ont produit 8,953 gr. de sulfate de plomb. D'après cette expérience, l'arséniate de plomb est composé de :

Acide arsénique,	34.14	100.00;
Oxide de plomb,	65.86	192.91.

Or, 192.91 p. d'oxide de plomb contiennent 13.834 p. d'oxigène.

Une partie de l'arséniate de plomb, qui n'avait point

été séchée, a été mise en digestion avec de l'ammoniaque caustique, et ensuite lavée et séchée au feu. 100 p. de sous-arséniate de plomb ainsi obtenues, décomposées par de l'acide sulfurique, ont produit 101.6 p. de sulfate de plomb. Ce sous-sel est donc composé de:

Acide arsénique,	25.25	100.00;
Oxide de plomb,	74.75	296.04.

Or, $192.91 \times 1\frac{1}{2} = 299.3$ (1). Il est donc évident que, soustraction faite des inexactitudes dans les expériences analytiques, l'acide arsénique se combine dans le sous-sel avec une fois et demie autant de base que dans l'arséniate neutre.

Arséniate de baryte. On le prépara en versant du nitrate de baryte dans une dissolution d'arséniate de soude cristallisé, à laquelle on avait ajouté un peu d'acide arsénique, de manière que la réaction alcaline fût enlevée aussi exactement que possible. Il ne se forma point d'abord de précipité; mais, après quelques momens, l'arséniate de baryte se précipita en forme de petites écailles cristallines, qui ont été lavées et séchées à un feu rouge. 10 gr. de cet arséniate de baryte ont donné 8.693 gr. de sulfate de baryte. Ce sel est donc composé de :

Acide arsénique,	42.94	100.00;
Baryte,	57.06	132.88.

Ces 132.88 p. de baryte contiennent 13.8867 p. d'oxigène; ce qui s'approche très-près du résultat de l'analyse de l'arséniate de plomb.

(1) $192{,}91 \times 1\frac{1}{2} = 289{,}36$. R.

Une partie de l'arséniate de plomb qui n'avait point encore été séchée fut mise en digestion avec de l'ammoniaque caustique, lavée, séchée et exposée au feu. 100 p. de ce sous-sel, décomposées par de l'acide sulfurique, ont donné 101.4 p. de sulfate de baryte. Ce sel est donc composé de :

Acide arsénique,	33.44	100.00;
Baryte,	66.56	199.04.

Mais $132.88 \times 1\frac{1}{2} = 199.32$; d'où il s'ensuit que l'acide y est combiné avec une fois et demie autant de base que dans l'arséniate neutre.

Arsénite de plomb. On fit dissoudre de l'acide arsénieux dans de l'ammoniaque caustique, et pour en séparer tout excès d'ammoniaque, on fit bouillir pendant quelque temps la solution saturée. Elle laissa dégager beaucoup d'ammoniaque, et il se fit un dépôt cristallin d'acide arsénieux. On laissa le liquide pendant quelques jours dans un endroit dont la température était au-dessous de zéro, pour déposer tout son acide excédent, qui cristallisa en octaèdres réguliers, lesquels ne contenaient ni ammoniaque ni eau. On fit alors dissoudre dans de l'eau 10 grammes de nitrate de plomb pulvérisé et bien séché, et on versa dans cette solution de l'arsénite d'ammoniaque tant qu'il s'y forma un précipité. Le précipité, bien lavé et séché, fut introduit dans une cornue de verre où on le fit fondre; il produisit une masse vitreuse jaunâtre qui pesait 12.29 gr. Une petite quantité d'acide arsénieux se sublima pendant la fusion, comme cela arrive toujours avec les arsénites lorsqu'on les expose au feu; mais son poids est compris dans les 12g.29. Pour m'assurer si toute la quantité d'oxide de plomb du nitrate

se trouvait dans la masse fondue, j'examinai la liqueur d'où l'arsénite avait été précipité. Elle se troublait par l'addition de l'acide sulfurique; ce qui eut lieu aussi avec les eaux de lavage. La quantité de sulfate de plomb ainsi obtenu fut 0g,356, équivalens à 0g,261 d'oxide de plomb pur, lesquels par conséquent doivent être défalqués des 6g,731 d'oxide de plomb contenus dans 10 gr. de nitrate de plomb. Il s'ensuit donc que 6g.47 d'oxide de plomb avaient produit 12g.29 d'arsénite de plomb, et que ce sel doit être composé de :

Acide arsénieux,	47.356	100.00;
Oxide de plomb,	52.644	111.17.

Or, ces 111.17 p. d'oxide de plomb contiennent 7.972 p. d'oxigène.

Une dissolution de sous-acétate de plomb a été précipitée par de l'arsénite d'ammoniaque, préparé de la manière indiquée plus haut, et l'on a eu soin de ne pas en précipiter la totalité de l'oxide de plomb. Le précipité, bien lavé et séché, a été fondu dans une cornue de verre. La matière vitreuse ainsi obtenue a été réduite en une poudre très-fine (1). 10 gr. de cette poudre ont été dissous dans de l'acide nitrique, et ensuite précipités par du sulfate d'ammoniaque. Le liquide fut ensuite neutralisé par de l'ammoniaque caustique; ce qui y détermina encore une petite quantité de précipité qui

(1) Les deux arsénites de plomb, tant avant qu'après la fusion, sont si idioélectriques qu'il est difficile de les pulvériser dans un mortier sans qu'une grande partie de la poudre soit rejetée hors du mortier par la répulsion électrique.

fut ajoutée à la première. Le sulfate de plomb, lavé et séché au feu, pesait 9g.32, équivalens à 6g.87 d'oxide de plomb. Dans ce sel, 100 p. d'acide arsénieux avaient été combinées avec 219.5 p. d'oxide de plomb. Mais $111.17 \times 2 = 222,34$; d'où il s'ensuit qu'en négligeant les inexactitudes de l'observation, l'acide y est combiné avec deux fois autant de base que dans le sel neutre.

De ces expériences, il paraît s'ensuivre que la capacité de saturation de l'acide arsénique est 13.886, et que dans les sous-arséniates l'acide est combiné avec une fois et demie autant de base que dans les arséniates neutres. La capacité de saturation de l'acide arsénieux est 7.972, et dans les sous-arsénites l'acide est combiné avec deux fois autant de base que dans les arsénites neutres.

Si l'acide arsénique, d'après ce que nous venons d'énoncer plus haut, est composé de 100 p. de métal sur 53.14 p. d'oxigène, il en contient 34.7 pour 100. Mais au cas que la quantité d'oxigène dans l'acide soit à sa capacité de saturation dans le même rapport que nous l'avons trouvé pour l'acide phosphorique, c'est-à-dire, que l'acide contienne deux fois et demie autant d'oxigène que la base dont il est neutralisé, il faut que la quantité d'oxigène dans l'acide arsénique soit $13.8867 \times 2\frac{1}{2} = 34,717$; ce qui s'accorde parfaitement bien.

Dans l'acide arsénieux, nous avons trouvé de 24.176 à 24.218 pour 100 d'oxigène. Sa capacité de saturation est 7.972, qui, multipliée par 3, = 23.916. La différence doit évidemment être attribuée à une inexactitude dans l'observation. Dans le sous-arsénite de plomb, l'acide

contient une fois et demie autant d'oxigène que la base. Le même rapport a lieu dans les phosphites neutres.

En admettant que l'analyse de l'arséniate de baryte ait donné un résultat exact; en admettant de plus que l'acide arsénique contienne $2\frac{1}{2}$ autant d'oxigène que la base dont il est neutralisé, le résultat calculé pour la composition de l'acide arsénieux s'accorde parfaitement avec celui trouvé par les expériences analytiques déjà décrites. Il s'ensuit donc que ces acides doivent être composés de la manière suivante :

	Acide arsénique.		Acide arsénieux.	
Arsenic,	65.283	100.000	75.81	100.000;
Oxigène,	34.717	53.179	24.19	31.907.

La manière entièrement analogue dont les acides du phosphore et de l'arsenic s'écartent de la loi générale des combinaisons des corps oxidés est une circonstance bien remarquable, d'autant plus que ces acides ont une très-grande analogie même sous d'autres rapports. Les acides phosphorique et arsénique donnent avec les alcalis des sels cristallisables qui, quoique proportionnels aux autres arséniates et phosphates neutres, ont une réaction alcaline; et si l'on sature leur dissolution exactement en y ajoutant de l'acide, et qu'on la fasse ensuite rapprocher, le sel qui cristallise réagit comme un alcali, tandis qu'un sel acide et moins facilement cristallisable reste dans la solution. Tant l'arsenic que le phosphore donnent avec l'hydrogène des combinaisons qui n'ont point des caractères acides, et qui, dans leurs propriétés chimiques, diffèrent complètement des combinaisons de l'hydrogène avec le soufre, le sélénium et le tellu-

rium. Tous les deux donnent des degrés d'acidification entre lesquels le rapport de l'oxigène est comme 3 à 5, et dans tous les deux, la plupart des anomalies disparaitraient si ce que nous considérons comme le radical simple contenait une portion d'oxigène qui serait $\frac{1}{5}$ de celle qu'il absorbe pour devenir acide en *ique*. Mais j'ai déjà, en parlant du phosphore, fait voir que pour le moment une portion d'oxigène dans ce corps est peu probable, et elle paraît l'être encore moins quant à l'arsenic, qui est doué de la plupart des caractères des métaux.

Dans le nombre assez grand des combinaisons des corps oxidés que j'ai eu occasion d'examiner, la loi des rapports multiples de l'oxigène des deux oxides combinés a été suivie par-tout, excepté dans les combinaisons formées par les acides de l'arsenic, du phospore et de l'azote, lorsqu'on considère ce dernier comme un corps simple.

Dans les acides formés par ces radicaux, le rapport de l'oxigène de l'acide en *eux* est à celui de l'acide en *ique* comme 3 : 5. Dans les arséniates et les phosphates neutres, l'acide contient deux fois et demie autant d'oxigène que la base, et ce rapport se trouve aussi dans quelques sous-nitrates. Dans tous les arséniates, phosphates et nitrates, l'oxigène de la base est un certain sous-multiple par 5, ou plus rarement par 10, de l'oxigène de l'acide (avec exception de quelques phosphates de chaux). Cela peut donner lieu aux questions suivantes : Est-ce que la loi des rapports multiples de l'oxigène dans deux corps oxidés qui se combinent (c'est-à-dire, que l'oxigène de l'un doit être un multiple par un nombre entier de celui de l'autre) est valable dans tous les cas, excepté ceux où,

lorsque le radical a deux degrés d'acidification, l'oxigène est dans le rapport de 3 à 5? Quelle est la raison pourquoi, dans les combinaisons formées par ces acides, il arrive si rarement que l'oxigène de l'acide est un multiple par un nombre entier de l'oxigène de la base? Il est évident qu'une réponse satisfaisante à ces questions sera d'un grand prix pour la théorie de la chimie. Il paraît clair aussi que si l'on prouve un jour que l'azote est un corps oxidé, ce qui est si probable, et ce qui se laissera bien déterminer lorsque les phénomènes de la réduction de l'ammoniaque par la pile électrique seront mieux étudiés et expliqués, il paraît clair, dis-je, qu'on aura alors la clef pour l'explication des anomalies analogues, présentées même par les acides du phosphore et de l'arsenic, quelque peu probable qu'une telle explication puisse paraître pour le moment (1).

---

(1) Qu'il me soit permis d'entretenir le lecteur de ces idées encore pendant quelques instans. L'azote présente un bien plus grand nombre de probabilités pour l'idée qu'il doit être un corps oxidé, que l'arsenic et le phosphore. Outre les phénomènes que présente l'ammoniaque dans la pile électrique, l'acide nitrique se combine avec plusieurs bases dans des rapports extraordinaires et extrêmement anomaux, au cas que l'azote ne soit point une substance oxidée. Tels sont le sous-nitrate et le sous-nitrite de plomb au *maximum*. Dans le premier, l'oxide de plomb contient $1\frac{1}{5}$ autant d'oxigène que l'acide nitrique; et dans le second, l'oxigène de la base est $1\frac{1}{3}$ de celui de l'acide nitreux. Si, d'un autre côté, l'azote est une substance oxidée qui contient la moitié de son volume d'oxigène, l'oxigène de l'oxide est égal en

Expériences qui rendent vraisemblable l'existence d'un oxide d'arsenic. Quelques auteurs prétendent que l'arsenic métallique exposé à l'influence de l'air tombe en une poudre noire non métallique, et Bergman con-

---

quantité à celui de l'acide ; ce qui est un rapport très-commun dans les sous-sels en général.

En comparant les différentes séries des multiples d'oxigène absorbé dans les différens degrés d'oxidation des corps combustibles simples, on en trouve deux bien distinctes : la première, que j'appellerai la *série ordinaire*, puisque c'est la plus commune, se fait par les multiples 1, 2, 3, 4, 6, et probablement au-delà, quoique l'expérience n'en ait pas encore bien constaté la continuation. Les radicaux, qui, dans leurs degrés d'oxidation, suivent cette série, obéissent aussi à la loi générale pour les combinaisons des oxides, c'est-à-dire que l'oxigène, dans l'un, est un multiple par un nombre entier de celui de l'autre. La seconde série, que j'appellerai la *série anomale*, se fait par les multiples 1, 2, 3, 5, et probablement aussi au-delà, quoique nous en ignorions la progression. Les oxides des radicaux qui suivent cette série n'obéissent point à la loi des combinaisons des corps oxidés, mais bien à une autre, qui consiste en ce que, dans les combinaisons de ces oxides anomaux avec d'autres oxides, l'oxigène de ces derniers est 1, 2, 3, etc. sous-multiples de l'oxigène de l'oxide anomal, par le même chiffre qui exprime le nombre des molécules d'oxigène dans l'oxide anomal, c'est-à-dire que, comme nous venons de le voir, l'oxigène de la base dans les arséniates et phosphates est, d'après leurs différens degrés de saturation, 1, 2 ou 3 cinquièmes de l'oxigène de l'acide, etc.

Les radicaux qui suivent cette série sont le phosphore,

seilla de conserver l'arsenic sous l'eau. J'ai eu occasion de vérifier cette propriété de l'arsenic dans une expérience où 100 p. d'arsenic, dans un vaisseau couvert de papier, après l'espace de quelques mois, avaient acquis

---

l'arsenic, l'azote, considéré comme corps simple; et dans la nouvelle hypothèse sur la nature de l'acide muriatique, le chlore et l'iode : en tout, cinq substances. Pour le chlore, par exemple, l'euchlorine (protoxide de chlore) est le premier, c'est-à-dire, le degré de l'unité; le multiple par 2 manque encore; et celui par 3, qui vient d'être découvert par MM. Davy et de Stadion, possède, comme le degré correspondant des autres radicaux, les caractères d'un acide en *eux*. Il a de commun avec l'acide nitreux qu'on ne peut point le combiner avec les bases d'une manière directe; mais on obtient cette combinaison lorsqu'en préparant le chlorate (oximuriate) de potasse, on fait discontinuer l'opération au moment où la réaction alcaline commence à disparaître. La combinaison qui se trouve alors dans le liquide n'est point le chlorate, puisqu'elle est très-soluble et qu'elle détruit les couleurs végétales. Elle n'est pas non plus un chlorure de potasse, puisque sa formation a été accompagnée de la précipitation d'une immense quantité de muriate de potasse, qui souvent ne contient presque pas de traces de chlorate ou d'oximuriate. Le corps acide combiné avec la potasse contient donc moins d'oxigène que l'acide chlorique, et il imprime à ses sels la même espèce de goût que les autres acides en *eux* impriment aux leurs. En un mot, c'est un véritable acide chloreux, ou, dans l'ancienne hypothèse, un acide oximuriateux. Le multiple par 5 est l'acide chlorique. Quant au degré d'acidification plus élevé découvert par M. de Stadion, les expériences laissent indécis s'il est un multiple

presque 8 parties en poids, et cessèrent alors entièrement d'en acquérir davantage. La poudre noire qui en résulta était insoluble tant dans l'eau que dans les acides ; mais si on la faisait digérer avec de l'acide muriatique, elle prenait un brillant métallique, et l'acide se trouvait tenir de l'acide arsénieux en dissolution. Lorsqu'on la chauffait fortement, elle donnait d'abord de l'acide arsénieux, et laissait un résidu d'arsenic métal-

---

par 6 ou par 7. Les combinaisons de l'iode avec l'oxigène n'ont encore offert qu'un multiple par 5, quoique je sois bien persuadé que l'on parviendra à découvrir les moyens de préparer aussi des degrés intermédiaires.

La série anomale a cette propriété très-remarquable, que si l'on suppose que le premier degré, l'unité, soit en effet un autre nombre auquel d'autres considérations théorétiques, mais indirectes, nous conduisent, non-seulement la série anomale devient tout de suite ordinaire ; mais ses oxides obéissent aussi en même temps aux mêmes lois que les autres corps oxidés. Nous venons de voir cela pour l'azote. La série de ces oxides deviendra 1, 2, 3, 4 et 6. Si ce que l'on a commencé à appeler le *chlore* et l'*iode*, d'après l'ancienne opinion sur la nature de la première de ces substances, opinion que je préfère, puisque je la trouve infiniment plus conforme avec nos autres idées chimiques que l'hypothèse nouvelle ; si le chlore, dis-je, d'après cette opinion, est la combinaison du radical muriatique avec 3 multiples d'oxigène, la série des degrés d'oxidation connus sera 2, 3, 4, 6, 8 et 9 ou 10, d'après ce que l'expérience déterminera sur le dernier degré. Cette série ne diffère de la série ordinaire que parce qu'elle est plus complète ; ce qui cependant ne peut point être une objection contre sa probabilité.

lique. En peu de mots, cette poudre possède les caractères de la classe des oxides que j'ai hasardé de nommer des *sous-oxides*, et qui, sans pouvoir se combiner avec d'autres corps oxidés, se décomposent par de très-légères impulsions, en réduisant une partie de leur radical et en portant l'autre à un degré d'oxidation plus haut et plus stable.

Comme la quantité d'oxigène trouvée dans ce sous-oxide est un quart de celle de l'acide arsénieux, sans cependant être aussi un sous-multiple simple de l'oxigène dans l'acide arsénique, j'ai voulu examiner sa composition de nouveau; mais, à ma grande surprise, je n'ai pu me procurer de l'arsenic métallique qui tombe en poudre dans l'air. J'ai de petites quantités d'arsenic métallique exactement pesées, qui depuis trois ans sont restées dans des vaisseaux de verre couverts de papier, et qui n'ont absolument rien acquis en poids. J'ignore en quoi consiste la différence entre l'arsenic métallique qui tombe en poudre et celui qui se conserve, ainsi que les différences dans les procédés qu'il faut employer pour produire l'un et l'autre.

J'essayai alors de produire un oxide d'arsenic en combinaison avec un acide; je chauffai de l'arsenic dans une fiole remplie de gaz acide muriatique. L'arsenic ne subit aucun changement; mais dans les parties supérieures il se sublima une petite quantité d'une substance couleur de puce. Le gaz acide muriatique n'en fut point absorbé, et on ne sentit point de gaz hydrogène arsénié lorsqu'on le fit passer dans l'air. La masse brune ne fut point altérée par l'eau; mais en y ajoutant un peu de potasse caustique elle se détacha tout de suite du verre,

rit son brillant métallique, et tomba en écailles lé-
es, qui nagèrent dans le liquide. Cette expérience
ut indiquer une action entre le gaz acide muriatique
'arsenic, quoique trop faible pour en tirer quelques
clusions sûres. Je mêlai ensuite trois parties de ca-
iel avec une partie d'arsenic métallique, et je les
illai ensemble : il se forma d'abord quelques gouttes
n liquide qui distilla, et qui était la combinaison
ydre de l'acide muriatique avec l'acide arsénieux.
suite il se forma un sublimé d'une couleur rouge
cée, qui tapissa l'intérieur du col de la pyrite, et
uite vint un amalgame d'arsenic tapisser l'intérieur
tuyau formé par le sublimé rouge. Je les séparai, et
mêlai la masse non métallique avec une nouvelle
se d'arsenic métallique, et la fis sublimer de nou-
au à une très-douce chaleur. Le sublimé était d'abord
nsparent et d'un beau rouge tirant un peu sur le
ne; mais à mesure que les couches se superposèrent,
devint plus foncé et perdit ensuite sa translucidité.
arsenic métallique resta dans la fiole. Le sublimé se
tacha aisément du verre. Sa couleur était brune, sa
ssure terreuse, sans signes de cristallisation, et sa
udre jaune. Il était insoluble tant dans l'eau que dans
cide muriatique. Du cuivre rouge frotté avec la pou-
re humectée d'acide muriatique n'en fut point atta-
ué. Mêlée avec de la limaille de fer et exposée à la
aleur, cette masse donna de l'arsenic qui se sublima
cristaux. Les alcalis fixes caustiques décomposèrent
tte masse presque dans l'instant. L'ammoniaque le fit
rès quelques momens. On trouva dans le liquide du
uriate et de l'arsénite d'alcali, et il resta un amalgame

d'arsenic. Le sublimé était donc un sel double à base d'oxidule de mercure et d'oxide d'arsenic, qui, tout comme cela arrive avec les oxides du soufre et du phosphore, se décompose au moment où il est mis à nu, en donnant naissance à de l'acide arsénieux et en laissant une partie de son radical réduit à l'état métallique. Ici, l'arsenic métallique avait réduit aussi le mercure, de manière que sa quantité en était d'autant diminuée.

Je ne doute point qu'il ne soit possible d'obtenir la combinaison de l'acide muriatique avec l'oxide d'arsenic sans la présence du muriate de l'oxidule de mercure; mais je n'ai point fait les expériences nécessaires ni pour déterminer ce point ni pour trouver la quantité d'oxigène avec laquelle l'arsenic y est combiné, de manière que je ne puis point dire si l'oxide du sel double dont je viens de donner la description est le même que l'oxide noir qui se forme par l'exposition de l'arsenic à l'influence de l'air.

Sulfures d'arsenic. MM. Klaproth et Laugier se sont occupés des analyses des sulfures naturels de ce métal, et tous les deux ont obtenu les mêmes résultats. M. Haüy ayant eu lieu de soupçonner que ces deux sulfures ont la même forme primitive cristalline, il en conclut qu'ils ne devaient être en effet que la même combinaison chimique, dont les caractères extérieurs étaient altérés par des mélanges accidentels. M. Laugier, en s'occupant de ces recherches, trouva en effet que les deux sulfures naturels chauffés dans une fiole donnèrent un sublimé d'acide arsénieux qui était plus abondant avec le sulfure rouge qu'avec le sulfure jaune. La masse fondue, ainsi privée de l'acide arsénieux, eut constam-

ment la même composition. Il trouva dans le sulfure rouge 43.67 p. de soufre sur 143.67 p. de sulfure; dans le sulfure jaune 61.66 p. de soufre sur 161,66 p. de sulfure, et dans le sulfure fondu jusqu'à l'expulsion de l'acide arsénieux 71.3 à 71.89 p. de soufre sur 171.3 p. de sulfure, c'est-à-dire, sur 100 p. d'arsenic métallique. Il en conclut donc, conformément à la conjecture de M. Haüy, que les deux sulfures naturels n'étaient probablement que des combinaisons de sulfures obtenus par la fusion avec des quantités différentes d'acide arsénieux. Le manque de correspondance entre la composition du sulfure d'arsenic obtenu par la fusion dans les expériences de M. Laugier, et celle des acides de ce métal, m'engagea à examiner ainsi ces sulfures naturels sous ce rapport, et pour éviter toute espèce de cause d'erreur par une combustion, je les exposai à la chaleur dans des appareils vidés d'air. Le sulfure s'y liquéfia et forma un liquide brun transparent, qui demanda une très-forte chaleur pour distiller. Je le laissai long-temps à une température peu éloignée de celle où il entre en ébullition, sans qu'aucune trace d'acide arsénieux se sublimât. Ensuite, en augmentant la chaleur, le sulfure entra en ébullition et distilla en gouttelettes jaunes. Dans ces expériences, aucune trace d'acide arsénieux ne se laissait apercevoir. Mais en répétant la même expérience dans une fiole ouverte, il se fit une espèce de grillage du sulfure, par lequel il se dégagea du gaz acide sulfureux et de l'acide arsénieux, dont le premier se volatilisa en forme de gaz, et le dernier cristallisa dans la voûte de la fiole.

Examinons à présent la composition des sulfures d'ar-

senic naturels. Ils ne contiennent d'abord que de l'arsenic et du soufre. M. Laugier trouva que le sulfure jaune contient 38.14 p. 100 de soufre. Dans la substance jaune brillante qu'on obtient en précipitant une dissolution d'acide arsénieux par le gaz hydrogène sulfuré, il y a, d'après des expériences déjà citées, 39 p. 100 de soufre, c'est-à-dire, que 100 parties d'arsenic y sont combinées avec 64.33 p. 100 de soufre. L'on sait que l'orpiment est plus ou moins sensiblement mêlé de réalgar, qui probablement n'y manque jamais. Cette circonstance doit donc diminuer la quantité de soufre trouvée par l'analyse; c'est aussi pourquoi l'analyse a donné 38.14, au lieu de 39 p. 100 de cette dernière substance. Laugier et Klaproth ont trouvé dans le réalgar 100 p. d'arsenic combinées avec 43.67 p. de soufre. Or, cette quantité est très-près des $\frac{2}{3}$ de 64.33; la quantité précise aurait été 42.9; mais il est à présumer qu'un mélange d'orpiment se trouve dans le réalgar, et y cause un petit excès de soufre, tout comme nous venons de voir que l'inverse a lieu pour l'orpiment. Je crois donc que l'on peut admettre comme établi que l'orpiment et le réalgal sont deux degrés différens de sulfure d'arsenic, dans lesquels la quantité de soufre est comme $1:1\frac{1}{2}$ ou comme $2:3$. Le sulfure jaune est proportionnel à l'acide arsénieux, et le sulfure rouge à un degré d'oxidation, qui contient $\frac{2}{3}$ autant d'oxigène que l'acide arsénieux, et qui peut fort bien être celui que nous venons de voir combiné avec l'acide muriatique.

Le sulfure d'arsenic artificiel produit, dans les expériences de M. Laugier, par la fusion des sulfures naturels, ne s'accorde point avec la composition ni des sulfures

examinés ni des acides de l'arsenic. D'après la théorie des proportions chimiques, il ne peut pas être un sulfure simple. Il est probablement le résultat de la combinaison d'un degré de sulfuration plus haut avec le réalgar. L'on sait que l'acide arsénique est décomposé par le gaz hydrogène sulfuré. Le sulfure qui en résulte est nécessairement composé de 100 p. d'arsenic, combinées avec 106.91 p. de soufre. Si on calcule la composition d'une combinaison de ce sulfure avec le réalgar, dans laquelle l'arsenic, dans chacun des deux sulfures, est en quantité égale, 100 p. d'arsenic y doivent être combinées avec 74.6 p. de soufre. Si, au contraire, on admet une composition telle que le soufre du sulfure au *maximum* y soit le double de celui du sulfure au *minimum* (c'est-à-dire, du réalgar), 100 p. d'arsenic y seront combinées avec 71.26 p. de soufre ; ce qui s'accorde parfaitement avec l'analyse de M. Laugier.

En voulant examiner le *maximum* de sulfuration dont l'arsenic est capable, j'ai trouvé que ce métal et le soufre peuvent être mêlés dans presque toutes les proportions. Le soufre surnage quelque temps le sulfure fondu ; mais peu à peu ils se mêlent en une masse homogène jaune. J'ai de cette manière combiné l'arsenic avec plus de sept fois son poids de soufre. Le sulfure refroidi était élastique comme de la gomme élastique, tout comme il arrive quelquefois avec le soufre seul, et ce n'était qu'après quelques semaines qu'il devenait entièrement solide et dur. La quantité de soufre fut déterminée en le faisant dissoudre par de l'acide nitro-muriatique, et en précipitant l'acide sulfurique par du muriate de baryte. Lorsqu'on distille ce sulfure, il donne

d'abord du soufre qui contient peu d'arsenic; mais à mesure que l'opération avance, l'arsenic augmente en quantité dans le produit distillé, qui devient en même temps plus coloré, de manière que les dernières gouttes que l'on trouve sublimées dans la voûte de la cornue sont d'un beau rouge de rubis. Il paraît donc que la chaleur ne donne point un moyen d'obtenir les sulfures d'arsenic dans leurs différens degrés de combinaisons définies (1).

MÉMOIRE

Sur la Diffraction de la lumière.

Par Mr A. Fresnel, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

(Extrait.)

Théorie de la Diffraction.

Avant d'exposer la théorie de la diffraction à laquelle j'ai été conduit par le système des ondulations, je crois devoir rappeler le résultat de mes observations qui me paraît le plus difficile à concilier avec l'hypothèse de l'émission.

Tous les phénomènes de la diffraction s'accordent à démontrer que les rayons lumineux qui passent auprès des corps ne sont pas seulement infléchis à leur surface

---

(1) M. Berzelius, qui a bien voulu traduire lui-même son Mémoire pour nos *Annales*, nous a promis de nous en envoyer la suite. R.

même, mais encore à des distances très-sensibles de cette surface, et qui peuvent être d'autant plus considérables que le point lumineux est plus éloigné. Ainsi, par exemple, s'il est à une distance infinie, comme une étoile, quelle que soit la largeur d'une ouverture par laquelle on fait passer le faisceau lumineux, en s'en éloignant suffisamment, on le verra toujours se dilater et répandre une lumière à-peu-près uniforme dans un espace beaucoup plus large que la projection de l'ouverture. On a vu, dans les notes jointes au rapport de M. Arago, que cet effet ne pouvait se concevoir qu'en supposant que les rayons s'infléchissent à des distances très-sensibles des bords de l'ouverture, puisque s'il n'y avait que les rayons qui ont rasé ses bords qui éprouvassent cette inflexion, la quantité de lumière infléchie, beaucoup moindre que celle qu'on observe, ne présenterait qu'une teinte obscure sur laquelle se détacherait vivement la projection brillante de l'ouverture formée par le pinceau des rayons directs.

Mais si les molécules lumineuses sont dérangées de leur direction primitive par l'influence des corps en passant à des distances sensibles de leur surface, il faut supposer, d'après le système de l'émission, que cet effet est produit par des forces attractives et répulsives qui émanent des corps, et dont la sphère d'activité embrasse les mêmes intervalles, ou bien l'attribuer à de petites atmosphères aussi étendues que ces sphères d'activité, et dont le pouvoir réfringent différerait de celui du milieu environnant. Mais il résulterait également de ces deux hypothèses que l'inflexion des rayons varierait avec la forme ou la nature des bords

de l'ouverture : or, l'on peut s'assurer, par des expériences variées et des mesures précises, que ces circonstances n'exercent aucune influence appréciable sur le phénomène (1), et que la dilatation du faisceau lumineux dépend uniquement de la largeur de l'ouverture. Les phénomènes de la diffraction sont donc inexplicables dans le système de l'émission.

Dans celui des ondulations, au contraire, il est aisé de se rendre raison de l'inflexion des rayons lumineux à des distances sensibles de l'écran. En effet, quand une petite partie d'un fluide élastique a éprouvé une condensation, par exemple, elle tend à se dilater dans toutes les directions; et si, dans une onde entière, les molécules ne se meuvent que parallèlement à la normale, cela tient à ce que toutes les parties de l'onde situées sur la même surface sphérique éprouvent simultanément la même condensation ou dilatation, et qu'ainsi les pressions transversales se font équilibre. Mais dès qu'une portion de l'onde lumineuse se trouve interceptée

---

(1) Du moins, tant qu'on ne reçoit pas l'ombre trop près du bord de l'écran, ou que la surface du corps opaque rasée par les rayons lumineux n'a pas trop d'étendue relativement à cette distance; car il pourrait se faire, dans ce cas, que les rayons réfléchis eussent une influence sensible sur l'aspect du phénomène, comme cela arrive lorsque la surface rasée par les rayons lumineux est celle d'un miroir suffisamment étendu, et qu'on en observe les franges à une petite distance. D'ailleurs il y aurait alors des diffractions *successives* sur une étendue trop considérable pour qu'on pût en faire abstraction.

ou retardée dans sa marche par l'interposition d'un écran opaque ou transparent, on conçoit que cet équilibre transversal doit être détruit, et qu'il doit en résulter pour les différens points de l'onde la faculté d'envoyer des rayons suivant de nouvelles directions.

Il serait sans doute bien difficile de suivre par l'analyse mécanique toutes les modifications que l'onde lumineuse éprouve successivement depuis l'instant où la rencontre de l'écran en a intercepté une partie. Aussi n'est-ce pas de cette manière que nous allons essayer de déterminer les lois de la diffraction. Nous ne chercherons pas à découvrir ce qui se passe dans le voisinage du corps opaque, où ces lois sont sans doute extrêmement compliquées et où la forme des bords de l'écran doit avoir encore une influence notable sur la position et l'intensité des franges. Nous nous proposons de calculer les intensités relatives des différens points de l'onde lumineuse seulement après qu'elle a dépassé l'écran d'un grand nombre d'ondulations. Ainsi, les positions de l'onde que nous considérerons seront toujours sensées éloignées de l'écran d'une quantité très-considérable par rapport à la longueur d'une ondulation lumineuse.

Nous n'envisagerons pas le problême des vibrations d'un fluide élastique sous le même point de vue que les géomètres l'ont fait ordinairement, c'est-à-dire, en ne considérant qu'un seul ébranlement. Dans la nature, les vibrations ne sont jamais isolées, elles se répètent toujours un grand nombre de fois, comme on peut le remarquer dans les oscillations d'un pendule ou les vibrations des corps sonores. Nous supposerons que les vibrations des particules lumineuses s'exécutent de la

même manière, en se succédant régulièrement par séries nombreuses ; hypothèse où nous conduit l'analogie, et qui d'ailleurs paraît une conséquence des forces qui tiennent les molécules des corps en équilibre. Pour concevoir une succession nombreuse d'oscillations à-peu-près égales de la même particule éclairante, il suffit de supposer que sa densité est beaucoup plus grande que celle du fluide dans lequel elle oscille. C'est ce qu'on devait déjà conclure de la régularité des mouvemens planétaires au travers de ce même fluide, qui remplit les espaces célestes. Il est très-probable aussi que le nerf optique n'est ébranlé de manière à produire la sensation de la vision qu'après un certain nombre de chocs successifs.

Quelque étendus qu'on suppose tous les systèmes d'ondes lumineuses, il est clair qu'ils ont des limites, et qu'en envisageant leurs interférences, on ne peut pas dire de leurs extrémités ce qui est vrai pour l'espace dans lequel ils se superposent. Ainsi, par exemple, deux systèmes d'ondes d'égale longueur et de même intensité, différant dans leur marche d'une demi-ondulation, ne se détruisent mutuellement que dans les points de l'éther où ils se rencontrent, et les deux demi-ondes extrêmes échappent à l'interférence.

Nous supposerons néanmoins que les systèmes d'ondes éprouvent la même modification dans toute leur étendue, la différence entre cette hypothèse et la réalité devant être inappréciable pour nos sens ; ou, ce qui revient au même, nous considérerons ces séries d'ondulations lumineuses comme indéfinies et comme des vibrations générales de l'éther, dans le calcul de leurs interférences.

Solution du probléme des interférences.

Etant données les intensités et les positions relatives d'un nombre quelconque de systèmes d'ondes lumineuses de méme longueur (1), *et qui se propagent suivant la même direction; déterminer l'intensité des vibrations résultant du concours de ces différens systèmes d'ondes, c'est-à-dire, la vitesse oscillatoire des molécules éthérées* (2).

D'après le principe général de la coexistence des petits mouvemens, la vitesse totale imprimée à une molécule quelconque du fluide est égale à la somme des

---

(1) Nous ne nous occuperons pas des interférences des ondes lumineuses de longueurs différentes, qu'on doit considérer, en général, comme émanant de sources différentes, et qui n'étant pas en conséquence assujetties à la simultanéité dans leurs perturbations, ne sauraient présenter des effets constans par leur influence mutuelle. D'ailleurs, en supposant même que ces effets fussent constans, la succession régulière de renforcemens et d'affaiblissemens de vibration qui résulterait des interférences des deux espèces d'ondes, et que l'on peut exactement comparer aux battemens que font entendre deux sons discordans, cette succession, dis-je, serait infiniment trop rapide pour être appréciable, et ne produirait qu'une sensation continue.

(2) M. Thomas Young, qui a enrichi la théorie des ondulations du principe si fécond des interférences, en a fait lui-même beaucoup d'applications ingénieuses; mais en considérant seulement les cas extrêmes d'accord ou de discordance complète, et sans calculer l'intensité de la lumière pour les cas intermédiaires, comme nous nous proposons de le faire ici.

vitesses que l'onde de chaque système lui aurait imprimée séparément. Comme ces ondes ne coïncident pas, ces différentes vitesses ne dépendent pas seulement de l'intensité de chaque onde, mais encore de sa position par rapport à la molécule, dans l'instant que l'on considère. Il faut donc connaître la loi suivant laquelle les vitesses d'oscillation varient dans la même onde, et pour cela remonter à la cause qui l'a produite, et dont elle tient tous ses caractères.

Il est naturel de supposer que les vibrations des particules éclairantes qui produisent la lumière s'exécutent comme celles des corps sonores, c'est-à-dire, suivant les mêmes lois que les petites oscillations d'un pendule, ou, ce qui revient au même, que la force accélératrice, qui tend à ramener les molécules dans leurs positions d'équilibre, est proportionnelle à la distance dont elles se sont écartées. Quelque fonction qu'elle soit de cette distance, que je représente par x, elle peut toujours être mise sous la forme $Ax+Bx^2+Cx^3+$, etc., puisqu'elle doit être nulle quand $x=0$: or, si l'on suppose les excursions des molécules très-petites par rapport à l'étendue des sphères d'activité des forces attractives et répulsives, on pourra négliger devant Ax tous les autres termes du développement, et regarder la force accélératrice comme sensiblement proportionnelle à la distance x. Cette hypothèse indiquée par l'analogie, et la plus simple que l'on puisse faire sur les vibrations des particules éclairantes, doit nous conduire à des résultats exacts, puisqu'on ne remarque pas que les lois de la lumière varient avec son intensité.

Si l'on représente par v la vitesse d'oscillation d'une

molécule éclairante au bout d'un temps t, on aura donc $dv = -Axdt$; mais $v = \frac{dx}{dt}$, ou $dt = \frac{dx}{v}$; substituant dans la première équation, on trouve : $vdv = -Axdx$. Intégrant, on a : $v^2 = C - Ax^2$; d'où :

$$x = -\sqrt{\frac{C - v^2}{A}}.$$

Substituant cette valeur de x dans la première équation, on a :

$$dt = \frac{dv}{\sqrt{A(C - v^2)}};$$

Intégrant, $t = C' + \frac{1}{\sqrt{A}} \text{arc} \left(\sin = \frac{v}{\sqrt{C}} \right)$.

Si donc on prend pour origine du temps celui du mouvement, la constante C' devra être nulle, et l'on aura :

$t = \frac{1}{\sqrt{A}} \text{arc} \left(\sin = \frac{v}{\sqrt{C}} \right)$, ou $v = \sqrt{C} \cdot \sin (t. \sqrt{A})$.

Si l'on prend pour unité de temps celui qui s'écoule depuis le départ de la molécule jusqu'à son retour, on aura : $v = \sqrt{C} \sin (2\pi t)$. Ainsi, dans des oscillations isochrones, les vitesses correspondant à la même valeur de t seront toujours proportionnelles à la constante $\sqrt{C}$, qui représente en conséquence l'intensité du mouvement vibratoire.

Considérons maintenant l'ondulation produite dans l'éther par les oscillations de cette molécule. L'énergie du mouvement de l'éther à chaque point de l'onde dépend de la vitesse de la molécule motrice au moment où elle a produit l'impulsion qui se fait sentir actuelle-

ment dans ce point. La vitesse des molécules éthérées en un point quelconque de l'espace après un temps t, est proportionnelle à celle qui animait la molécule motrice à l'instant $t-\frac{x}{\lambda}$, x représentant la distance de ce point à la source du mouvement et λ la longueur de l'ondulation lumineuse. On a donc, en représentant par u la vitesse des molécules éthérées :

$$u = a \sin\left(2\pi\left(t-\frac{x}{\lambda}\right)\right).$$

On sait que l'intensité a des vibrations du fluide est, en raison inverse de la distance de l'onde, au centre d'ébranlement ; mais, vu la petitesse des ondes relativement à l'éloignement où nous les supposons du point lumineux, nous pouvons faire abstraction dans l'étendue d'une et même de plusieurs ondulations de la variation de a, et considérer cette quantité comme constante.

On peut, à l'aide de cette formule, calculer l'intensité des vibrations produites par le concours d'un nombre quelconque de faisceaux lumineux, quand on connaît l'intensité de ces différens systèmes d'ondes et leurs positions respectives.

Je suppose d'abord qu'il s'agisse de déterminer les vitesses des molécules lumineuses dans les vibrations résultant du concours de deux systèmes d'ondes distans l'un de l'autre d'un quart d'ondulation, et dont les intensités sont a et a'. Je compte le temps t, à partir du moment où ont commencé les vibrations du premier faisceau lumineux. Soient u et u' les vitesses que le premier et le second système d'ondes tendent à imprimer à la même molécule lumineuse distante de la source du mouvement d'une quantité égale à x, on aura :

$$u = a \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right) \text{ et } u' = a' \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x + \frac{1}{4}\lambda}{\lambda}\right)\right),$$

$$\text{ou } u' = -\, a' \cos\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right).$$

Par conséquent, la vitesse totale U sera égale à :

$$a \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right) - a' \cos\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right);$$

mais, en faisant $a = A \cos i$ et $a' = A \sin i$, on peut toujours mettre cette expression sous la forme :

$$A\left(\cos i \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right) - \sin i \cos\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right)\right),$$

$$\text{ou } A \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right).$$

Ainsi, l'onde résultant du concours des deux autres sera de même nature, mais aura une position et une intensité différentes. Les équations $A \cos i = a$ et $A \sin i = a'$ donnent, pour la valeur de A, c'est-à-dire, pour l'intensité de l'onde résultante $\sqrt{a^2 + a'^2}$. C'est précisément la valeur de la résultante de deux forces rectangulaires égales à a et a'.

Il est aisé de voir aussi, d'après les mêmes équations, que la position de la nouvelle onde répond exactement à la situation angulaire de la résultante des deux forces rectangulaires a et a'. Car, d'après la formule :

$$U = A \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right),$$

l'intervalle qui sépare cette onde de la première est égal à $\frac{i\lambda}{2\pi}$: or, i est l'angle que la force a fait avec la résultante A, puisque $A \cos i = a$. Ainsi, la similitude est complète entre la résultante de deux forces rectangulaires et celle de deux systèmes d'ondes distans d'un quart d'ondulation.

La solution du problème que je viens de donner dans

le cas particulier où il s'agit de trouver la résultante de deux ondes séparées par un intervalle d'un quart d'ondulation suffit pour le résoudre dans tous les autres cas. En effet, quel que soit le nombre des différens systèmes d'ondes et les intervalles qui les séparent, on peut toujours substituer à chacun d'eux ses composans rapportés à deux points communs distans d'un quart d'ondulation; alors, en ajoutant ou retranchant, selon leurs signes, les intensités des composans rapportés au même point, on ramènera le mouvement total à deux systèmes d'ondes séparés par un intervalle d'un quart d'ondulation, et la racine carrée de la somme des carrés de leurs intensités sera celle de leur résultante. C'est absolument le procédé qu'on emploie en statique pour trouver la résultante d'un nombre quelconque de forces : ici, la longueur de l'ondulation répond à la circonférence dans le problême de statique et l'intervalle d'un quart d'ondulation entre les systèmes d'ondes, à l'intervalle angulaire d'un quart de circonférence qui sépare les composantes.

Il arrive le plus souvent, dans les problêmes d'optique, que les intensités de lumière ou les teintes que l'on veut calculer ne résultent que du concours de deux systèmes d'ondes seulement, comme dans les anneaux colorés et les phénomènes de coloration les plus ordinaires que présentent les lames cristallisées ; en sorte qu'il est bon de connaître la formule générale qui donne la résultante de deux systèmes d'ondes séparés par un intervalle quelconque. On prévoit déjà le résultat que l'on obtiendrait en appliquant à ce cas la méthode générale que je viens d'exposer. Mais je ne crois pas inutile de m'appe-

santir encore sur la théorie de ces mouvemens vibratoires, et de prouver directement que l'onde résultant du concours des deux autres, quelles que soient leurs positions relatives, répond exactement, pour son intensité et pour sa situation, à la résultante de deux forces égales aux intensités des deux faisceaux lumineux, et faisant entre elles un angle qui soit à la circonférence entière, comme l'intervalle qui sépare les deux systèmes d'ondes est à la longueur d'une ondulation.

Soit x la distance du centre du premier système d'ondes à la molécule lumineuse que l'on considère, et t l'instant où l'on veut calculer sa vitesse ; celle que lui imprime l'onde du premier système est égale à

$$a \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right),$$

a étant l'intensité de ce faisceau lumineux. Si l'on représente par a' l'intensité du second et par c l'intervalle qui sépare les points correspondans des deux systèmes d'ondes, la vitesse résultant du second sera :

$$a' \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x+c}{\lambda}\right)\right),$$

et par conséquent la vitesse totale imprimée à la molécule

$$a \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right) + a' \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x+c}{\lambda}\right)\right),$$

$$\text{ou} \left(a + a' \cos\left(2\pi\frac{c}{\lambda}\right)\right) \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$$

$$- a' \sin\left(2\pi\frac{c}{\lambda}\right) \cos\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right);$$

expression qui peut toujours se mettre sous la forme :

$$A \cos i \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right) - A \sin i \cos\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right),$$

$$\text{ou } A \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right),$$

en faisant $a + a' \cos\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right) = A \cos i$ et $a' \sin\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right) = A \sin i$. Elevant chaque membre de ces équations au carré et les ajoutant, on a :

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2\, a\, a' \cos\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right);$$

$$\text{d'où } A = \pm\sqrt{a^2 + a'^2 + 2\, a\, a' \cos\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right)}.$$

C'est la valeur de la résultante de deux forces a et a', faisant entre elles un angle égal à $2\pi \frac{c}{\lambda}$.

Il résulte de cette formule générale que l'intensité de la lumière totale est égale à la somme de celles des deux faisceaux constituans, dans le cas de l'accord parfait, à leur différence quand ils discordent complètement, et enfin, à la racine carrée de la somme de leurs carrés lorsque leurs vibrations correspondantes sont à un quart d'ondulation les unes des autres ; ce qu'on avait déjà démontré.

Il est facile de voir que la position de l'onde répond exactement à la situation angulaire de la résultante des deux forces a et a'. En effet, la distance de la première onde à la seconde est c, et à l'onde résultante $\frac{i}{2\pi}\lambda$, et la distance de celle-ci à la seconde $c - \frac{i}{2\pi}\lambda$; par conséquent les angles correspondans sont $2\pi \frac{c}{\lambda}$, i et $2\pi \frac{c}{\lambda} - i$: or, en multipliant par $\sin i$ l'équation $a + a' \cos\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right) = A \cos i$, et par $\cos i$ l'équation $a' \sin\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right) = A \sin i$, et les retranchant l'une de l'autre, on trouve :

$$a \sin i = a' \sin\left(2\pi \frac{c}{\lambda} - i\right),$$

qui, avec l'équation $a' \sin\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right) = A \sin i$, donne la proportion :

$$\sin\left(2\pi . \frac{c}{\lambda} - i\right) : \sin i : \sin\left(2\pi \frac{c}{\lambda}\right) :: a : a' : A.$$

L'expression générale $A \sin\left(2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right)$ de la vitesse des molécules dans l'onde résultant du concours de deux autres démontre que cette onde a la même longueur que ses composantes, et que les vitesses des points correspondans sont proportionnelles ; en sorte que l'onde résultante est toujours de même nature que ses composantes, et n'en diffère que par l'intensité, c'est-à-dire, par la quantité constante qui multiplie les rapports des vitesses de toutes les molécules auxquelles elle s'étend. En la combinant successivement avec de nouvelles ondes, on retrouverait toujours des expressions de même forme ; propriété remarquable de cette sorte de fonctions. Ainsi, dans la résultante d'un nombre quelconque de systèmes d'ondes de même longueur, les molécules lumineuses sont toujours animées de vitesses proportionnelles à celles des composantes, aux points situés à la même distance de l'extrémité de chaque onde.

Application du principe d'Huyghens aux phénomènes de la diffraction.

Après avoir indiqué la manière de déterminer la résultante d'un nombre quelconque de systèmes d'ondes lumineuses, je vais faire voir comment, à l'aide de ces formules d'interférence et du seul principe d'Huyghens, il est possible d'expliquer et même de calculer tous les phénomènes de la diffraction. Ce principe, qui me paraît

une conséquence rigoureuse de l'hypothèse fondamentale, peut s'énoncer ainsi : *Les vibrations d'une onde lumineuse dans chacun de ses points peuvent être regardées comme la somme des mouvemens élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans une quelconque de ses positions antérieures* (1).

Il résulte du principe de la coexistence des petits mouvemens, que les vibrations produites en un point quelconque d'un fluide élastique par plusieurs ébranlemens, sont égales à la somme de toutes les agitations envoyées au même instant dans ce point, par ces différens centres d'ondulation, quel que soit leur nombre, leurs positions respectives, la nature et l'époque des ébranlemens divers. Ce principe, étant général, doit s'appliquer à tous les cas particuliers. Je supposerai que tous ces ébranlemens, en nombre infini, sont de même espèce, ont lieu simultanément, sont contigus et placés sur un même plan ou sur une même surface sphérique. Je ferai encore une hypothèse relativement à la nature de ces ébranlemens; je supposerai que les vitesses imprimées aux molécules sont toutes dirigées dans le même sens, perpendiculairement à la surface sphérique, et

---

(1) Je considère toujours la succession d'une infinité d'ondulations ou une vibration générale du fluide. Ce n'est que dans ce sens qu'on peut dire que deux ondes lumineuses se détruisent lorsqu'elles sont à une demi-ondulation l'une de l'autre. Les formules d'interférences que je viens de donner ne sont point applicables au cas d'une ondulation isolée, qui d'ailleurs n'est pas celui de la nature.

sont en outre proportionnelles aux condensations; en sorte que les molécules ne puissent pas avoir de mouvement rétrograde. J'aurai ainsi reconstitué une onde dérivée par l'ensemble de ces ébranlemens partiels. Il est donc vrai de dire que les vibrations d'une onde lumineuse dans chacun de ses points peuvent être regardées comme la somme de tous les mouvemens élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans une quelconque de ses positions antérieures.

L'intensité de l'onde primitive étant uniforme, il résulte de cette considération théorique, comme de toutes les autres, que cette uniformité se conservera pendant sa marche, si aucune partie de l'onde n'est interceptée ou retardée relativement aux parties contiguës, parce que la somme des mouvemens élémentaires dont je viens de parler sera la même pour tous les points. Mais si une portion de l'onde est arrêtée par l'interposition d'un corps opaque, alors l'intensité de chaque point variera avec sa distance au bord de l'ombre, et ces variations seront surtout sensibles dans le voisinage des rayons tangens.

Soit C (fig. 1) le point lumineux, AG l'écran, AME l'onde arrivée en A et interceptée en partie par le corps opaque. Je la suppose divisée en une infinité de petits arcs Am', $m'm$, mM, Mn, nn', $n'n''$, etc. Pour avoir son intensité au point P dans une quelconque de ses positions suivantes BPD, il faut chercher la résultante de toutes les ondes élémentaires que chacune de ces portions de l'onde primitive y enverrait en agissant isolément.

L'impulsion qui a été communiquée à toutes les parties de l'onde primitive étant dirigée suivant la normale, les mouvemens qu'elles tendent à imprimer à l'éther doivent être plus intenses dans cette direction que dans toute autre; et les rayons qui en émaneraient, si elles agissaient isolément, seraient d'autant plus faibles qu'ils s'écarteraient davantage de cette direction.

La recherche de la loi suivant laquelle leur intensité varierait autour de chaque centre d'ébranlement présenterait sans doute de grandes difficultés; mais heureusement nous n'avons pas besoin de la connaître; car il est aisé de voir que les effets produits par ces rayons se détruisent presque complètement dès qu'ils s'inclinent sensiblement sur la normale; en sorte que ceux qui influent d'une manière appréciable sur la quantité de lumière que reçoit chaque point *P* peuvent être regardés comme d'égale intensité (1).

---

(1) Lorsque le centre d'ébranlement a éprouvé une condensation, la force expansive tend à pousser les molécules dans toutes directions, et si elles n'ont pas de mouvement rétrograde, cela tient uniquement à ce que leurs vitesses initiales en avant détruisent celles que la dilatation tend à leur imprimer en arrière; mais il ne s'ensuit pas que l'ébranlement ne puisse se propager que suivant la direction des vitesses initiales; car la force expansive, dans un sens perpendiculaire, par exemple, se combine avec l'impulsion primitive sans que ses effets en soient affaiblis. Il est clair que l'intensité de l'onde ainsi produite doit varier beaucoup dans les différens points de sa circonférence, non-seulement à cause de l'impulsion initiale, mais encore parce que les con-

En effet, considérons les rayons sensiblement inclinés *EP*, *FP*, *IP*, concourant au point *P*, que je suppose distant de l'onde *EA* d'un grand nombre d'ondulations. Prenons les deux arcs *EF* et *FI* d'une longueur telle que les différences *EP*-*FP* et *FP*-*IP* soient égales à une demi-ondulation. A cause de l'obliquité prononcée des rayons et de la petitesse d'une demi-ondulation par rapport à leur longueur, ces deux arcs seront presque égaux et les rayons qu'ils envoient au point *P* sensiblement parallèles; en sorte qu'en raison de la différence d'une demi-ondulation qui existe entre les rayons correspondans des deux arcs, leurs effets se détruiront mutuellement.

On peut donc supposer que tous les rayons que les diverses parties de l'onde primitive *AE* envoient au point *P* sont d'égale intensité, puisque les seuls rayons pour lesquels cette hypothèse soit inexacte n'ont pas d'influence sensible sur la quantité de lumière qu'il reçoit. On peut aussi, par la même raison, pour simplifier le calcul de la résultante de toutes ces ondes

---

densations ne sont pas assujetties à la même loi autour du centre de la partie ébranlée. Mais les variations d'intensité de l'onde dérivée doivent suivre nécessairement une loi de continuité, et peuvent par conséquent être considérées comme insensibles dans un intervalle angulaire très-petit, surtout auprès de la normale à l'onde génératrice; car les vitesses initiales des molécules rapportées à une direction quelconque étant proportionnelles au cosinus de l'angle que cette direction fait avec la normale, ces composantes varient dans un rapport beaucoup moindre que l'intervalle angulaire quand il est peu considérable.

élémentaires, considérer leurs mouvemens vibratoires comme s'exécutant suivant une même direction, vu la petitesse des angles que les rayons font entre eux; en sorte que le problême se trouve ramené à celui-ci, que nous avons déjà résolu : *Trouver la résultante d'un nombre quelconque d'ondes lumineuses parallèles, de même longueur, dont les intensités et les positions relatives sont connues.* Les intensités sont ici proportionnelles à la longueur des arcs éclairans, et les positions relatives sont données par les différences de chemins parcourus.

Nous n'avons considéré, à proprement parler, que la section de l'onde faite par un plan perpendiculaire au bord de l'écran projeté en A. Envisageons-la maintenant dans toute son étendue, et concevons-la divisée en fuseaux infiniment minces par des méridiens équidistans perpendiculaires au plan de la figure; on pourra leur appliquer les raisonnemens que nous venons de faire pour une section de l'onde, et démontrer ainsi que les rayons d'une obliquité prononcée se détruisent mutuellement.

Ces fuseaux parallèles au bord de l'écran étant tous indéfiniment étendus dans le cas dont nous nous occupons, où l'onde lumineuse n'est interceptée que d'un seul côté, l'intensité de la résultante de toutes les vibrations qu'ils envoient en P sera la même pour chacun d'eux; car les rayons qui émanent de ces fuseaux doivent être considérés comme d'égale intensité, du moins dans la partie très-peu étendue de l'onde génératrice qui a une influence sensible sur la lumière envoyée en P, à cause de l'extrême petitesse de la différence entre les

chemins parcourus. De plus, chaque résultante élémentaire sera évidemment en arrière de la même quantité par rapport au rayon parti du point du fuseau le plus voisin de *P*, c'est-à-dire, du point où ce fuseau rencontre le plan de la figure. Ainsi, les intervalles entre ces résultantes-élémentaires seront égaux aux différences des chemins parcourus par les rayons AP, $m'P$, mP, etc., compris dans le plan de la figure, et leurs intensités seront proportionnelles aux arcs Am', $m'm$, mM, etc. Pour avoir l'intensité de leur résultante générale, il faut donc faire le même calcul auquel nous avions déjà été conduits, en ne considérant que la section de l'onde par un plan perpendiculaire au bord de l'écran (1).

Avant de calculer l'expression analytique de cette résultante, je vais d'abord tirer du principe d'Huyghens les conséquences qu'on en peut déduire par de simples considérations géométriques.

---

(1) Tant que le bord de l'écran est rectiligne, il suffit, pour déterminer les positions des bandes obscures et brillantes et leurs intensités relatives, de considérer la section de l'onde faite par un plan perpendiculaire au bord de l'écran; mais lorsqu'il est courbe ou composé de lignes droites faisant entre elles des angles quelconques, il devient nécessaire d'intégrer suivant les deux sens rectangulaires, ou circulairement autour du point que l'on considère. Cette dernière méthode est plus simple dans quelques cas particuliers, comme lorsqu'il s'agit, par exemple, de calculer l'intensité de la lumière dans la projection du centre d'un écran ou d'une ouverture circulaires.

Soit AG (fig. 2) un corps opaque assez étroit pour qu'on puisse distinguer des franges dans l'intérieur de son ombre, à la distance AB. Soit C le point éclairant, BD le carton blanc sur lequel on reçoit les franges ou le plan du foyer de la loupe avec laquelle on les observe.

Concevons l'onde primitive divisée en petits arcs Am, mm', $m'm''$, etc., Gn, nn', $n'n''$, $n''n'''$, etc., de façon que les rayons menés du point P que l'on considère dans l'intérieur de l'ombre à deux points de division consécutifs diffèrent d'une demi-ondulation. Toutes les petites ondes envoyées en P par les élémens de chacun de ces arcs seront en discordance complète avec les ondes élémentaires qui émanent des parties correspondantes des deux arcs entre lesquels il est compris; en sorte que si tous ces arcs étaient égaux, les rayons qu'ils envoient en P se détruiraient mutuellement, à l'exception de l'arc extrême mA, dont les rayons conserveraient la moitié de leur intensité, la moitié de la lumière envoyée par l'arc mm' avec lequel il se trouve en discordance complète étant détruite par la moitié de celle de l'arc précédent $m''m'$.

Ces arcs sont sensiblement égaux lorsque les rayons qui concourent au point P sont suffisamment inclinés par rapport à la normale. Alors l'onde résultante répond à-peu-près au milieu de mA, le seul arc qui produise un effet sensible, et se trouve ainsi en arrière d'un quart d'ondulation par rapport à l'onde élémentaire partie du bord A du corps opaque. La même chose ayant lieu relativement à l'autre partie Gn de l'onde incidente, le degré d'accord ou de discordance entre les vibrations lumi-

neuses qui se manifeste au point *P* se trouve déterminé par la différence de longueur entre les deux rayons *sP* et *tP* qui émanent des milieux des arcs *Am* et *Gn*, ou, ce qui revient au même, par la différence entre les deux rayons *AP* et *GP* partis des bords mêmes du corps opaque. Ainsi, lorsque les franges intérieures que l'on considère sont suffisamment éloignées des bords de l'ombre géométrique, on peut leur appliquer sans erreur sensible la formule basée sur l'hypothèse que les ondes infléchies ont leurs centres aux bords mêmes du corps opaque. Mais à mesure que le point *P* se rapproche de *B*, l'arc *Am* devient plus grand par rapport à l'arc *m m'*, l'arc *mm'* par rapport à l'arc *m'm''*, etc., et de même dans l'arc *mA*, les élémens qui avoisinent le point *A* deviennent sensiblement plus grands que ceux situés vers le point *m*, et répondant à des différences égales de chemins parcourus. Il en résulte que le rayon *efficace* *sP* (1) ne doit plus être la moyenne entre les rayons extrêmes *mP* et *AP*, mais se rapprocher davantage de la longueur de celui-ci. De l'autre côté du corps opaque, au contraire, la différence entre le rayon *GP* et le rayon efficace *tP* approche d'autant plus d'être exactement égale à un quart d'ondulation, que le point *P* s'éloigne davantage de *D*. Ainsi, la différence des chemins parcourus varie plus rapidement entre les rayons efficaces *sP* et *tP* qu'entre les rayons *AP*

---

(1) J'appelle ainsi celui qui mesure la distance de l'onde résultante à l'onde primitive, parce que la situation des bandes obscures et brillantes est la même que si ces rayons *efficaces* concouraient seuls à leur production.

et GP; par conséquent les franges qui avoisinent le point B doivent être un peu moins éloignées du centre de l'ombre que ne l'indique la formule fondée sur la première hypothèse.

Après avoir examiné le cas où les franges sont produites par un corps étroit, je passe à celui où elles le sont par une petite ouverture.

Soit AG (fig. 3) l'ouverture par laquelle on fait passer la lumière; je la suppose d'abord assez étroite pour que les bandes obscures du premier ordre soient dans l'intérieur de l'ombre géométrique de l'écran et suffisamment éloignées des bords B et D. Soit P le point le plus sombre d'une de ces deux bandes; il est aisé de voir qu'il doit répondre à une différence d'une ondulation entre les deux rayons extrêmes AP et PG. En effet, si l'on conçoit un autre rayon PI mené de façon que sa longueur soit moyenne entre celle des deux autres, en conséquence de leur obliquité prononcée sur l'arc AIG, le point I en sera à-peu-près le milieu. Cet arc se trouvera donc composé de deux autres, dont les élémens correspondans seront sensiblement égaux, et enverront au point P des vibrations contraires qui devront par conséquent se détruire mutuellement.

Il est aisé de voir par des raisonnemens semblables que les points les plus sombres des autres bandes obscures répondent à des différences d'un nombre pair de demi-ondulations entre les rayons partant des deux bords du diaphragme, et les points les plus éclairés des bandes brillantes à des différences d'un nombre impair de demi-ondulations, c'est-à-dire qu'elles doivent être situées dans des positions absolument inverses de celles que l'on

conclûrait des accords ou des discordances des rayons extrêmes, dans l'hypothèse où ils concourraient seuls à la production des franges, à l'exception cependant de la bande du milieu, qui doit être brillante dans un système comme dans l'autre. L'expérience confirme les conséquences déduites de celui où l'on considère les franges comme résultant du concours des vibrations de tous les points de l'arc *AG*, et contredit par conséquent le système d'après lequel on les regarderait comme produites uniquement par les rayons infléchis et réfléchis sur les bords mêmes du diaphragme. Ce sont aussi les premiers phénomènes qui m'ont fait reconnaître l'inexactitude de cette hypothèse, et m'ont conduit à la théorie dont je viens d'exposer le principe fondamental, qui n'est autre que celui d'Huyghens, combiné avec le principe des interférences, que l'on doit à M. Young.

Dans le cas que nous venons de considérer, où les bandes obscures du premier ordre sont rejetées par la petitesse de l'ouverture à une distance assez considérable des bords de l'ombre géométrique, il résulte de la théorie, comme de l'expérience, que l'espace compris entre leurs points les plus sombres est à très-peu près le double des autres intervalles entre les milieux de deux bandes obscures consécutives, et d'autant plus exactement que l'ouverture est plus étroite ou le diaphragme plus éloigné du point lumineux et du foyer de la loupe avec laquelle on observe les franges; car, en augmentant suffisamment ces distances, on peut produire les mêmes effets avec une ouverture d'une largeur quelconque.

Mais lorsque ces distances ne sont pas assez considérables, et que l'ouverture est trop large pour que les

rayons qui concourent à la formation des franges soient suffisamment inclinés sur l'onde lumineuse AG, il arrive que les élémens correspondans des arcs dans lesquels nous l'avons supposé divisée, ne peuvent plus être considérés comme égaux entre eux, mais sont sensiblement plus larges du côté le plus voisin de la bande que l'on considère. Alors on ne peut plus déduire rigoureusement de la théorie la position des *maxima* ou *minima* d'intensité de lumière, qu'en calculant la résultante de toutes les petites ondes élémentaires qui émanent de l'onde incidente.

Mais il est un cas très-remarquable où la connaissance de cette intégrale n'est pas nécessaire pour déterminer la loi des franges produites par une ouverture d'une largeur beaucoup plus considérable : c'est lorsqu'on place devant le diaphragme une lentille qui porte le foyer des rayons réfractés sur le plan dans lequel on observe les franges. Alors le centre de courbure de l'onde émergente se trouve dans ce plan, au lieu d'être au point lumineux; ce qui simplifie beaucoup le problème.

Soit O la projection du milieu de l'ouverture sur ce plan; si du point O comme centre, et d'un rayon égal à AO, on décrit l'arc $AI'G$, il représentera l'onde incidente telle qu'elle se trouve modifiée par l'interposition de la lentille. Maintenant, si du point P comme centre, et d'un rayon égal à AP, on décrit l'arc AEF, les parties des rayons lumineux qui concourent au point P comprises entre l'arc $AI'G$ et l'arc AEF seront les différences des chemins parcourus par les ondes élémentaires. Or, ces deux arcs ayant des courbures égales et tournées dans le même sens, à des intervalles égaux sur

l'onde $AI'G$ répondront des différences égales dans les chemins parcourus. Si donc on suppose cette onde livisée de manière que deux rayons consécutifs menés ar les points de division diffèrent d'une demi-ondulation, lorsque le point P sera placé de façon que le ombre de ces arcs soit pair, il ne recevra plus de luière, puisque les effets produits par ces arcs se détruiront deux à deux, les vibrations de leurs élémens orrespondans étant à-la-fois d'égale intensité et en iscordance complète. La lumière envoyée au point P arviendra, au contraire, à son *maximum* d'intensité uand ces arcs seront en nombre impair. Il en résulte ue les points les plus éclairés des bandes brillantes épondront à une différence d'un nombre impair de emi-ondulations entre les rayons partis des deux bords u diaphragme, et les points les plus sombres des bandes bscures à une différence d'un nombre pair de demiondulations. Par conséquent toutes les bandes obscures eront également espacées entre elles, à l'exception des leux premières, dont l'intervalle sera exactement double de celui qui sépare les autres. Ce résultat, que la théorie m'avait indiqué d'avance, se trouve parfaitement confirmé par l'expérience. Je ne rapporterai qu'une observation de ce genre faite dans une lumière rouge homogène. Pour porter le centre de l'onde incidente sur le micromètre, au lieu d'une lentille ordinaire, j'ai employé un verre à surface cylindrique, que j'ai placé de manière que la droite génératrice fût parallèle aux bords de l'ouverture du diaphragme, afin de conserver aux franges toute leur longueur.

Largeur de l'ouverture . . . . $2^{mm},00$.
Distance du point lumineux au diaphragme, ou *a*. $2^{m},507$.
Distance du diaphragme au micromètre, ou *b*. . $1^{m},140$.

Intervalle entre les milieux des deux bandes obscures du premier ordre . . . . $0^{mm},72$.
Entre la bande du 1er ordre et celle du 3e. . . $0^{mm},73$.
Entre celle du 3e et celle du 5e. . . . . $0^{mm},72$.

On voit que le premier intervalle est égal aux doubles intervalles suivans.

J'observai la même loi, et à des distances aussi peu considérables, avec des ouvertures beaucoup plus larges, par exemple, d'un centimètre, et même d'un centimètre et demi. Mais en augmentant davantage l'ouverture du diaphragme, les franges devenaient confuses, quelque soin que je misse à bien placer le micromètre au foyer du verre cylindrique; ce qui tenait à ce que les rayons réfractés par ce verre ne vibraient sensiblement d'accord qu'entre des limites assez rapprochées, comme cela a lieu pour les lentilles ordinaires.

Lorsque l'ouverture du diaphragme ainsi combiné avec un verre cylindrique n'est pas trop considérable, les bandes obscures et brillantes sont aussi prononcées que les franges produites par le concours des rayons réfléchis sur deux miroirs. Mais dans celles-ci, l'intensité de la lumière reste la même pour toutes les franges, ou du moins les différences qu'on aperçoit tiennent uniquement à ce que la lumière employée n'est jamais d'une homogénéité parfaite; et si, d'une part, les bandes brillantes perdent par degrés une partie de leur éclat, les bandes obscures deviennent moins sombres; en sorte que la somme de lumière d'une frange entière reste sen-

siblement la même. Dans l'autre phénomène, au contraire, on observe, en s'éloignant du centre, une diminution rapide de la lumière, dont il est aisé de se rendre compte par la théorie que nous venons d'exposer. En effet, tous les rayons émanés de l'onde *AI'G* qui concourent au milieu de la bande brillante du premier ordre se trouvent avoir parcouru des chemins égaux ; en sorte que toutes les petites ondes élémentaires qu'ils apportent en ce point coïncident et se fortifient mutuellement. Il n'en est pas de même des autres bandes brillantes. Le point le plus éclairé de celle du second ordre, par exemple, répond à la division de l'onde *AI'G* en trois arcs, dont les rayons extrêmes diffèrent d'une demi-ondulation; les effets produits par deux de ces arcs se neutralisant mutuellement, ce point ne reçoit de lumière que du troisième, dont les vibrations se détruisent même en partie, à cause de la différence d'une demi-ondulation entre ses rayons extrêmes. Un raisonnement semblable fait voir que le milieu de la bande brillante du troisième ordre ne doit être éclairé que par un cinquième de l'onde *AI'G*, dont la lumière est encore affaiblie par la discordance des rayons partis des points voisins de ses extrémités.

Reprenons le cas général des franges qui proviennent d'une ouverture étroite, sans que la courbure de l'onde incidente soit changée par l'interposition d'une lentille. Parmi les principaux phénomènes de diffraction, aucun ne présente des effets plus variés et plus compliqués. Néanmoins, sans connaître la nature de l'intégrale qui nous servira bientôt à déterminer la position et l'intensité des bandes obscures et brillantes, nous pouvons

déjà résoudre un problème intéressant. *L'ouverture du diaphragme variant, quelles sont les variations que doivent éprouver les distances du diaphragme au point lumineux et au micromètre pour que les franges conservent les mêmes largeurs et les mêmes rapports d'intensité?*

Soient AG et $A'G'$ (fig. 4) les deux petites ouvertures inégales par lesquelles on fait passer la lumière. Je suppose que les points lumineux C et C' et les plans d'observation PO et $P'O'$ se trouvent placés aux distances convenables pour que les franges soient absolument pareilles dans les deux cas. Soient P et P' deux points correspondans de la même frange; on doit avoir $PO = P'O'$, O et O' étant les projections des milieux des deux ouvertures sur les plans PO et $P'O'$. Si des points C et C' comme centres avec des rayons égaux à CA et $C'A'$, on décrit des arcs de cercle AIG et $A'I'G'$, et si l'on décrit ensuite des points O et O' comme centres les arcs tangens FIH, $F'I'H'$, les intervalles entre les premiers et les seconds seront les différences des chemins parcourus par les rayons qui concourent aux points O et O' : or, pour que la résultante des ondes élémentaires qui émanent des différens points de l'onde incidente présente les mêmes variations d'intensité, il faut qu'elle soit composée d'élémens semblables; et cette condition sera remplie si l'on a $AF = A'F'$. En effet, il en résulte d'abord que pour O et O' les différences des chemins parcourus par les rayons qui émanent des points correspondans des ondes AIG et $A'I'G'$ seront égales; par conséquent, si l'on conçoit les deux ondes divisées en petits arcs propor-

tionnels, les vibrations qu'ils enverront en O et O' auront précisément entre elles les mêmes degrés d'accords et de discordances, et les deux résultantes seront ainsi composées d'élémens pareils. On voit aisément qu'il doit en être de même pour tous les autres points correspondans P et P', situés de façon que les droites CP et $C'P'$ divisent les ondes AG et $A'G'$ en parties proportionnelles. Par conséquent, la résultante des ondes lémentaires suit la même loi dans les deux cas.

Cela posé, je représente les largeurs AG et $A'G'$ des eux ouvertures par c et c', les distances CI et $C'I'$ ar a et a', et IO et $I'O'$ par b et b'. Les droites CP $C'P'$ divisant les arcs AG et $A'G'$ en parties proportionnelles, on a :

$$AG : A'G' \text{ ou } c : c' :: MI : M'I', \text{ d'où } \frac{c}{c'} = \frac{MI}{M'I'}.$$

lais on a en outre les deux proportions :

$$CI : CO \text{ ou } a : a+b :: MI : PO$$

$$\text{et } C'I' : C'O' \text{ ou } a' : a'+b' :: M'I' : P'O' ;$$

'où l'on tire : $PO = \frac{MI(a+b)}{a}$, et $P'O' = \frac{M'I'(a'+b')}{a'}$.

Ces deux largeurs étant égales par hypothèse, on a :

$$\frac{MI(a+b)}{a} = \frac{M'I'(a'+b')}{a'}, \text{ ou } \frac{MI}{M'I'} = \frac{a(a'+b')}{a'(a+b)};$$

$$\text{or, } \frac{MI}{M'I'} = \frac{c}{c'}; \text{ on a donc : } \frac{c}{c'} = \frac{a(a'+b')}{a'(a+b)},$$

ou $ac'(a'+b') = a'c(a+b)$. Telle est la première équation de condition.

Il en faut encore une autre pour exprimer l'égalité des intervalles AF et $A'F'$. A cause de la petitesse des arcs AG et FH, $A'G'$ et $F'H'$, on a :

$$AF = \frac{AI^2}{2CI} + \frac{AI^2}{2OI} = \frac{1}{8}\left(\frac{c^2}{a} + \frac{c^2}{b}\right) = \frac{1}{8} \cdot \frac{c^2(a+b)}{ab},$$

de même $A'F' = \frac{1}{8} \cdot \frac{c'^2(a'+b')}{a'b'}$;

par conséquent, la seconde équation de condition est :

$$\frac{c^2(a+b)}{ab} = \frac{c'^2(a'+b')}{a'b'}.$$

En combinant ces deux équations, on trouve les formules :

$b' = \frac{bc'}{c}$ et $a' = \frac{ab'^2}{b(a+b)-ab'}$, ou $a' = \frac{abc'^2}{c^2(a+b)-acc'}$,

au moyen desquelles on peut calculer les distances a' et b', la largeur c' de la seconde ouverture étant donnée.

Il est à remarquer que l'équation $b' = \frac{bc'}{c}$ donne la proportion : $b : b' :: c : c'$; c'est-à-dire qu'une des conditions de l'égalité des franges est que les distances du diaphragme au micromètre soient proportionnelles aux largeurs des ouvertures.

J'ai vérifié l'exactitude de cette loi par l'expérience suivante. La largeur de l'ouverture étant d'abord de 2 millimètres, sa distance au point lumineux de $3^{m},008$, et sa distance au micromètre de $1^{m},236$, je me suis proposé de produire les mêmes franges avec une ouverture de $1^{mm},50$. D'après les formules ci-dessus, sa distance au point lumineux devait être de $1^{m},052$, et sa distance au micromètre de $0^{m},927$.

Le tableau suivant présente à-la-fois les résultats de la 1re et de la 2e observation. On voit qu'elles s'accordent parfaitement.

Nos des bandes obscures en partant du centre.	NOTES communes aux deux observations.	DISTANCES du centre aux points les plus sombres des bandes obscures. 1re observat.	2e observat.	Différences.
1	Grosse bande.	0	0	0
	Brillant.			
2	Très-pâle.	mm 0,63	0,63	0
	Brillant.			
3	*Minimum* peu prononcé	1,11	1,11	0
	Sombre.			
4	*Minimum* peu prononcé.	1,53	1,54	mm +0,01
	Obscur.			
5	Très-obscur.	1,96	1,96	0

On peut faire sur les franges produites par des corps ɔaques très-étroits des raisonnemens analogues à ceux ıe nous venons de faire pour les petites ouvertures. En présentant les mêmes distances par les mêmes lettres, et largeur du corps étroit par *c*, comme celle de la petite ıverture, on est conduit aux mêmes formules :

$$b' = \frac{bc'}{c} \text{ et } a' = \frac{abc'^2}{(a+b)c^2 - acc'}.$$

J'ai encore vérifié la loi dans ce cas, par l'expérience. près avoir employé un fil d'acier de $1^{mm},325$ de diaıètre, placé à $3^{m},047$ du point lumineux et à $3^{m},526$ du ıicromètre, je me suis servi d'un autre fil d'acier qui vait seulement $0^{mm},78$ de diamètre, et j'ai disposé ce

fil et le micromètre par rapport au point lumineux, façon que a' fût égal à $0^m,779$, et b' à $2^m,078$, val calculées d'après les formules ci-dessus. Voici les ré tats de ces deux observations :

Nos des bandes obscures en partant du centre.	NOTES communes aux deux observations.	DISTANCES du centre aux points les plus sombres des bandes obscures.		Différenc
		1re observat.	2e observat.	
Bandes intérieur.		mm	mm	mm
1	Très-noire.	0,76	0,74	+ 0,02
2	....	2,12	2,13	— 0,01
3	Extrêmement pâle.	3,37	3,40	— 0,03
Bandes extérieur.				
4 (1re)	Etroite.	4,31	4,32	— 0,01
5 (2e)	*Idem.*	5,75	5,77	— 0,0
6 (3e)	Très-vague.	»	»	»
7 (4e)	....	7,54	7,58	— 0,0

Ces deux observations ne s'accordent pas aussi-b que celles du tableau précédent; mais les différe n'excèdent pas cependant les limites des inexactit que comportent les mesures, en raison de la largeur franges.

Les franges produites par une ouverture ou un c opaque très-étroits ne varient pas seulement de gran

absolue lorsqu'on fait varier a ou b, mais encore de positions et d'intensités relatives; en sorte que l'aspect du phénomène change entièrement. Cela vient de ce que la résultante des vibrations envoyées par l'onde lumineuse n'est plus composée d'élémens semblables. Au contraire, les bandes obscures et brillantes qui bordent l'ombre d'un écran indéfiniment étendu sont toujours disposées de la même façon, et présentent les mêmes rapports dans leurs intensités et les intervalles qui les séparent. La raison en est facile à apercevoir.

Soit AB et $A'B'$ (fig. 5) le corps opaque dans deux positions différentes relativement au point lumineux et au micromètre, ou au plan sur lequel on reçoit les franges. Le point lumineux et ce plan sont en C et TP dans le premier cas, je suppose, et en C' et $T'P'$ dans le second. Soit P un point quelconque pris sur le plan TP; on peut toujours, dans l'autre plan $P'T'$, trouver un point P' pour lequel la résultante des vibrations envoyées par l'onde incidente soit composée d'élémens semblables. Des points C et C' comme centres et avec des rayons égaux à CA et $C'A'$, je décris les arcs AMI et $A'M'I'$, qui représentent l'onde incidente; et des points P et P' comme centres, je décris les arcs tangens EMF, $E'M'F'$; les intervalles entre ceux-ci et les précédens donnent les différences des chemins parcourus par les rayons qui concourent en P et P'. Pour que les mouvemens lumineux qui se manifestent aux points P et P' soient composés de vibrations élémentaires semblables, ayant entre elles les mêmes degrés d'accord ou de discordance, il suffit que les intervalles AF et $A'F'$ soient égaux; car, si l'on conçoit les deux

ondes incidentes divisées en parties proportionnelles aux arcs AM et $A'M'$, la différence des chemins parcourus sera la même alors pour tous les rayons partis des points de division correspondans. En raison de la petitesse des arcs AM et MF, $A'M'$ et $M'F'$, on a :

$$AF = \frac{AM^2}{2MC} + \frac{AM^2}{2MP}, \text{ ou } AF = AM^2\left(\frac{1}{2a} + \frac{1}{2b}\right),$$

$$\text{et } A'F' = A'M'^2\left(\frac{1}{2a'} + \frac{1}{2b'}\right).$$

On a donc : $AM^2\left(\frac{1}{2a} + \frac{1}{2b}\right) = A'M'^2\left(\frac{1}{2a'} + \frac{1}{2b'}\right)$;

mais les triangles semblables CAM et CTP donnent:

$$AM = \frac{a \cdot TP}{a + b}.$$

On trouve de même : $A'M' = \frac{a' \cdot T'P'}{a' + b'}$.

Substituant ces valeurs dans l'équation précédente, on a pour l'équation de condition entre TP et $T'P'$:

$$T'P' = TP \cdot \frac{\sqrt{\frac{2b'(a'+b')}{a'}}}{\sqrt{\frac{2b(a+b)}{a}}}.$$

Il en résulte que les variations de $T'P'$ seront proportionnelles à celles de TP, et que par conséquent les parties correspondantes des franges seront situées d'une manière absolument semblable dans les deux cas. Voilà pourquoi les intervalles entre les bandes obscures ou brillantes, et leurs intensités conservent toujours les mêmes rapports, quelles que soient les valeurs de a et de b (1).

---

(1) En regardant les franges extérieures d'un fil de soie aussi près que possible de leur origine avec une lentille d'une

Je suppose que le point P que l'on considère soit, par exemple, le point le plus sombre de la bande obscure du premier ordre, et qu'on représente par δ l'intervalle AF, qui répond à ce *minimum*, on aura :

$$\delta = AM^2 \left(\frac{1}{2a} + \frac{1}{2b} \right);$$

$$\text{mais } AM = \frac{a.TP}{a+b}.$$

Substituant cette valeur dans l'équation précédente, on en tire :

$$TP = \sqrt{\frac{2b(a+b)\delta}{a}}.$$

Cette formule est absolument semblable à celle que nous avons trouvée, en supposant que les franges extérieures sont produites par le concours des rayons directs et des rayons réfléchis sur le bord de l'écran. On voit qu'il résulte de la nouvelle théorie, comme de la première hypothèse, que les valeurs de TP corespondantes aux différentes valeurs de b ne leur sont pas proportionnelles, mais sont les ordonnées d'une hyperbole dont celles-ci seraient les abscisses.

---

ligne de foyer, il m'a semblé que les rapports des intervalles étaient un peu changés ; mais il est clair que cette loi doit changer lorsque b ou a deviennent très-petits, puisque les rayons qui concourent à la production des franges ayant alors des inclinaisons très-sensibles, l'hypothèse sur laquelle elle repose n'est plus exacte. Il est possible encore qu'à une distance aussi petite, la lumière réfléchie par le fil influe d'une manière sensible sur le phénomène et en altère la loi.

mins parcourus par les résultantes élémentaires qui concourent au point P (1).

Cela posé, pour calculer leur résulante totale, je les rapporte à l'onde émanée du point M, placé sur la droite CP, et à une autre onde distante de celle-ci d'un quart d'ondulation, d'après le procédé que j'ai indiqué, en donnant la solution du problème des interférences. Je représente par dz une quelconque des petites parties

---

(1) Par des raisonnemens semblables, on peut démontrer mathématiquement, sans effectuer les calculs, que le résultat doit toujours être le même, soit que l'on considère l'onde génératrice à l'instant où elle atteint le bord de l'écran, soit qu'on l'envisage dans une position antérieure ou postérieure, en ayant égard, dans le premier cas, aux modifications que les ondes élémentaires éprouvent de la part de l'écran, et, dans le second, à celles que l'onde génératrice a déjà éprouvées. En y réfléchissant un peu, on reconnaîtra que ces diverses manières de calculer la résultante ne different que par la manière de grouper les vibrations élémentaires dans lesquelles on divise l'ébranlement primitif, et qu'on doit toujours arriver à la même valeur de l'intensité de la lumière au point P, s'il résulte de cette théorie comme de toutes les autres que la vitesse d'oscillation des molécules du fluide est en raison inverse de la distance au centre d'ébranlement. Or, c'est ce que nous pouvons déjà vérifier sans connaître l'expression de l'intégrale qui représente cette vitesse.

Prenons pour unité de distance celle du point lumineux à l'onde génératrice dans une première position, et pour unité d'intensité d'oscillation, celle de l'onde dans la même position. Considérons maintenant un point situé au-delà, à une distance x du point lumineux, et par conséquent à une dis-

nn' de l'onde primitive, et par z sa distance au point M, ne considérant que la section de l'onde dans le plan perpendiculaire au bord de l'écran; ce qui suffit pour déterminer la position et les intensités *relatives* des bandes obscures et brillantes, ainsi que je l'ai démontré. L'intervalle ns compris entre l'onde AMI et l'arc tangent EMF décrit du point P comme centre, sera égal à $\frac{1}{2}\frac{z^2(a+b)}{ab}$, a et b exprimant toujours les distances CA et AB. Si l'on représente par λ la longueur d'une ondu-

---

tance $x-1$ de l'onde génératrice, et un autre à une distance x' du point lumineux, et par conséquent à une distance $x'-1$ de l'onde génératrice, et cherchons successivement la résultante de toutes les vibrations élémentaires envoyées dans ces deux points par l'onde génératrice. Nous ne savons pas quelle est leur intensité pour un élément $dz\,dy$ de cette onde; mais nous savons que leur vitesse d'oscillation doit diminuer comme la distance augmente, et que si elle est $\frac{1}{x-1}$, par exemple, dans le premier point, elle sera $\frac{1}{x'-1}$ dans le second. Cela posé, pour comparer plus aisément les deux résultantes, concevons successivement, dans les deux cas, l'onde génératrice divisée en élémens qui répondent pour les deux points à des différences égales entre les chemins parcourus : alors leurs degrés d'accords ou de discordance seront les mêmes. Dans les petites obliquités où ces rayons peuvent produire des effets sensibles, la différence de longueur de chacun d'eux avec le rayon normal est proportionnelle au carré de l'intervalle entre les points dont ils émanent; ainsi les élémens correspondans des deux divisions seront proportionnels entre eux. On trouve, par un calcul géométrique fort simple, que les dimensions des élémens de la division relative

lation, on aura, pour la composante de l'onde que l'on considère rapportée à celle émanée du point M:

$$dz.\cos\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab.\lambda}\right);$$

et pour l'autre composante rapportée à une onde distante d'un quart d'ondulation de la premiere :

$$dz.\sin\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right).$$

En faisant la somme des composantes semblables de toutes les autres ondes élémentaires, on a donc :

$$\int dz.\cos\left(\pi\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right) \text{ et } \int dz.\sin\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right);$$

et par conséquent la résultante générale de tous ces petits

---

au premier point sont aux dimensions des élémens relatifs au second,

$$\text{comme } \sqrt{\frac{x-1}{x}} \text{ est à } \sqrt{\frac{x'-1}{x'}}.$$

Les surfaces des élémens correspondans seront donc entre elles comme $\frac{x-1}{x}$ est à $\frac{x'-1}{x'}$; et par conséquent les deux résultantes seraient dans le même rapport, si les rayons avaient une intensité égale dans les deux cas; mais nous venons de remarquer que la vitesse d'oscillation des rayons envoyés dans le premier point est à celle de rayons envoyés dans le second, comme $\frac{1}{x-1} : \frac{1}{x'-1}$; ainsi la première résultante sera à la seconde comme $\frac{x-1}{x}.\frac{1}{x-1}$ est à $\frac{x'-1}{x'}.\frac{1}{x'-1}$, ou comme $\frac{1}{x}$ est à $\frac{1}{x'}$, c'est-à-dire, en raison inverse des distances de ces deux points au point lumineux. *C. Q. F. D.*

mouvemens, ou l'intensité des vibrations lumineuses au point P, est égale à :

$$\sqrt{\left(\int dz.\cos\left(\pi\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2+\left(\int dz.\sin\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2}.$$

Quant à l'intensité de la sensation, comme elle doit être proportionnelle au carré des vitesses qui animent les molécules du fluide, son expression sera :

$$\left(\int dz.\cos\left(\pi\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2+\left(\int dz.\sin\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2.$$

C'est ce que j'appellerai l'*intensité de la lumière*, pour me conformer à l'acception la plus ordinaire de ce mot, réservant l'expression *intensité des vibrations* pour désigner le degré de vitesse des molécules éthérées dans leurs oscillations.

Dans le cas que nous considérons, où le corps AG est assez étendu pour qu'on puisse négliger la lumière qui vient du côté G, les intégrales doivent être prises depuis A jusqu'à l'infini du côté I. Elles se divisent naturellement en deux parties, l'une comprise entre A et M, et l'autre entre M et l'infini. Celle-ci reste constante, tandis que la première varie avec la position du point P; ce sont ces variations qui déterminent la largeur et les intensités relatives des bandes obscures et brillantes.

L'analyse donne l'expression finie des intégrales

$$\int dz.\cos\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right) \text{ et } \int dz.\sin\left(\pi.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right),$$

prises depuis $z=0$ jusqu'à $z=\infty$; mais on ne peut avoir leur valeur entre d'autres limites que par le moyen des séries ou des intégrations partielles. C'est par ce der-

nier procédé, qui m'a paru le plus commode, que j'ai calculé la table suivante, en rapprochant assez les limites de chaque intégrale partielle pour pouvoir négliger le carré de la moitié de l'arc qu'elles comprennent (1). Cet arc est ici un dixième de quadrans; ce qui donne dans les résultats une exactitude plus grande que celle à laquelle peuvent atteindre les observations. J'ai substitué, pour plus de simplicité, aux intégrales ci-dessus, $\int dv \,.\cos q \,.\, v^2$ et $\int dv \,.\sin q \,.\, v^2$, q représentant le quadrans ou $\frac{1}{2}\pi$, vu qu'il est très-facile de passer des unes aux autres.

---

(1) i et $i+t$ étant les limites très-rapprochées entre lesquelles il faut intégrer $dv \,.\cos q v^2$ et $dv \,.\sin q v^2$, on trouve pour les formules approximatives, qui donnent ces intégrales, en négligeant le carré de $\frac{1}{2}t$:

$$\int dv \cos q v^2 = \frac{1}{2q(i+t)}\Big(\sin q(i+t)(i+3t) - \sin q(i+t)(i-t)\Big),$$

$$\int dv \,.\sin q v^2 = \frac{1}{2q(i+t)}\Big(-\cos q(i+t)(i+3t) + \cos q(i+t)(i-t)\Big).$$

Ce sont ces formules que j'ai employées dans le calcul de la table.

Lorsque t est assez petit pour qu'on puisse négliger son carré, au lieu de négliger seulement le carré de sa moitié, on peut se servir des formules suivantes, qui sont plus simples:

$$\int dv \,.\cos q v^2 \binom{v=i}{v=i+t} = \frac{1}{2iq}\big(\sin q i(i+2t) - \sin q i^2\big).$$

$$\int dv \,.\sin q v^2 \binom{v=i}{v=i+t} = \frac{1}{2iq}\big(-\cos q i(i+2t) + \cos q i^2\big).$$

Tableau des valeurs numériques des intégrales $\int dv \, . \cos q v^2$ *et* $\int dv \, . \sin q v^2$.

LIMITES des INTÉGRALES.	$\int dv \, . \cos q v^2$	$\int dv \, . \sin q v^2$	LIMITES des INTÉGRALES.	$\int dv \, . \cos q v^2$	$\int dv \, . \sin q v^2$
de $v = 0^q$			de $v = 0^q$		
à $v = 0^q,10$	0,0999	0,0006	à $v = 2^q,90$	0,5627	0,4098
à $v = 0,20$	0,1999	0,0042	à 3,00	0,6061	0,4959
0,30	0,2993	0,0140	3,10	0,5621	0,5815
0,40	0,3974	0,0332	3,20	0,4668	0,5931
0,50	0,4923	0,0644	3,30	0,4061	0,5191
0,60	0,5811	0,1101	3,40	0,4388	0,4294
0,70	0,6597	0,1716	3,50	0,5328	0,4149
0,80	0,7230	0,2487	3,60	0,5883	0,4919
0,90	0,7651	0,3391	3,70	0,5424	0,5746
1,00	0,7803	0,4376	3,80	0,4485	0,5654
1,10	0,7643	0,5359	3,90	0,4226	0,4750
1,20	0,7161	0,6229	4,00	0,4986	0,4202
1,30	0,6393	0,6859	4,10	0,5739	0,4754
1,40	0,5439	0,7132	4,20	0,5420	0,5628
1,50	0,4461	0,6973	4,30	0,4497	0,5537
1,60	0,3662	0,6388	4,40	0,4385	0,4620
1,70	0,3245	0,5492	4,50	0,5261	0,4339
1,80	0,3342	0,4509	4,60	0,5674	0,5158
1,90	0,3949	0,3732	4,70	0,4917	0,5668
2,00	0,4886	0,3432	4,80	0,4340	0,4965
2,10	0,5819	0,3739	4,90	0,5003	0,4347
2,20	0,6367	0,4553	5,00	0,5638	0,4987
2,30	0,6271	0,5528	5,10	0,5000	0,5620
2,40	0,5556	0,6194	5,20	0,4390	0,4966
2,50	0,4581	0,6190	5,30	0,5078	0,4401
2,60	0,3895	0,5499	5,40	0,5573	0,5136
2,70	0,3929	0,4528	5,50	0,4785	0,5533
2,80	0,4678	0,3913			

$\int d\nu \cos q\nu^2$ et $\int d\nu \sin q\nu^2$, prises depuis zéro jusqu'à l'infini, sont égales l'une et l'autre à $\frac{1}{2}$. Ainsi, pour avoir, à l'aide de cette table, l'intensité de lumière qui répond à une position donnée du point P, ou, ce qui revient au même, à une valeur déterminée de ν considérée comme une des limites de l'intégration poussée de l'autre part jusqu'à l'infini, il faut chercher dans la table les valeurs de $\int d\nu . \cos q\nu^2$ et $\int d\nu . \sin q\nu^2$, qui répondent à cette valeur de ν, les augmenter de $\frac{1}{2}$ l'une et l'autre, et faire la somme de leurs carrés.

La seule inspection de cette table indique des variations périodiques d'intensité dans la lumière à mesure qu'on s'éloigne du bord de l'ombre géométrique. Pour avoir les valeurs de ν qui répondent aux *maxima* et *minima*, c'est-à-dire, aux points les plus éclairés et les plus sombres des bandes obscures et brillantes, j'ai d'abord cherché dans la table les nombres qui en approchaient le plus, en calculant les intensités de lumière correspondantes ; ensuite, au moyen de ces données et à l'aide d'une formule approximative très-simple, j'ai déterminé avec une exactitude suffisante les valeurs de ν qui répondent aux *maxima* et *minima*.

Si l'on représente par i la valeur approchée de ν que donne immédiatement la table, par I et Y celles de $\frac{1}{2}+\int d\nu . \cos q\nu^2$ et $\frac{1}{2}+\int d\nu . \sin q\nu^2$ qui lui correspondent, et par t, enfin, le petit arc qu'il faut ajouter à ν pour atteindre le *maximum* ou le *minimum* de lumière, en négligeant dans le calcul le carré de t, on

trouve, pour la formule qui donne la valeur de t répondant au *maximum* ou au *minimum* :

$$\sin(q(i^2+2it))=\frac{2qi\cdot I-\sin qi^2}{\sqrt{(2qiI-\sin qi^2)^2+(2qiY+\cos qi^2)^2}}\ (1).$$

(1) Je crois devoir placer ici le calcul qui m'a conduit à cette formule, pour faire voir que les inexactitudes qu'elle comporte sont aussi petites que celles de la table.

$$\int dv\cdot\cos qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=-\infty\\ v=i+t\end{smallmatrix}\right)=\int dv\cos qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=-\infty\\ v=i\end{smallmatrix}\right)$$
$$+\int dv.\cos qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=i\\ v=i+t\end{smallmatrix}\right)=I+\int dv.\cos qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=i\\ v=i+t\end{smallmatrix}\right);$$

pour intégrer $\int dv\,.\cos qv^2$ depuis $v=i$ jusqu'à $v=i+t$, je fais $v=i+u$, et j'ai :

$$\int dv.\cos qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=i\\ v=i+t\end{smallmatrix}\right)=\int du.\cos q(i^2+2iu+u^2)\left(\begin{smallmatrix}u=o\\ u=t\end{smallmatrix}\right):$$

or, i étant le nombre de la table le plus voisin de l'arc cherché $i+t$, t est plus petit que la moitié de l'intervalle qui sépare deux nombres consécutifs, et l'on peut par conséquent négliger son carré dans l'intégration sans commettre d'erreur plus grande que celles de la table. Ainsi, puisque l'intégrale dont il s'agit doit être prise seulement depuis $u=o$ jusqu'à $u=t$, on peut négliger u^2 dans la parenthèse, et elle devient $\int du.\cos q(i^2+2iu)\left(\begin{smallmatrix}u=o\\ u=t\end{smallmatrix}\right)$, qui est égale à : $\frac{1}{2qi}\left(\sin q(i^2+2it)-\sin qi^2\right)$; on a donc :

$$\int dv.\cos qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=-\infty\\ v=i+t\end{smallmatrix}\right)=I+\frac{1}{2qi}\left(\sin q(i^2+2it)-\sin qi^2\right).$$

On trouve de même :

$$\int dv.\sin qv^2\left(\begin{smallmatrix}v=-\infty\\ v=i+t\end{smallmatrix}\right)=Y+\frac{1}{2qi}\left(-\cos q(i^2+2it)+\cos qi^2\right);$$

En substituant dans cette formule les nombres tirés de la table, on obtient les résultats suivans :

---

par conséquent l'expression de l'intensité de la lumière au point que l'on considère est :

$$\left[I+\frac{1}{2qi}(\sin q(i^2+2it)-\sin qi^2\right]^2$$
$$+\left[Y+\frac{1}{2qi}(-\cos q(i^2+2it)+\cos qi^2)\right]^2$$

Pour trouver la valeur de t qui répond au *maximum* ou au *minimum* de cette expression, il faut égaler à zéro son coefficient différentiel pris par rapport à t; ce qui donne l'équation de condition :

$$0=\left[I+\frac{1}{2qi}(\sin q(i^2+2it)-\sin qi^2)\right]\left[\cos q(i^2+2it)\right]$$
$$+\left[Y+\frac{1}{2qi}(-\cos q(i^2+2it)+\cos qi^2)\right]\left[\sin q(i^2+2it)\right].$$

Effectuant les multiplications et réduisant, elle devient :

$$0=\cos q(i^2+2it).\left(I-\frac{1}{2qi}\sin qi^2\right)$$
$$+\sin q(i^2+2it).\left(Y+\frac{1}{2qi}.\cos qi^2\right).$$

Si l'on représente, pour abréger, $\sin q(i^2+2it)$ par x, $\cos q(i^2+2it)$ sera égal à $\sqrt{1-x^2}$: substituant et faisant disparaître les radicaux, on trouve :

$$x^2\left(Y+\frac{1}{2qi}.\cos qi^2\right)^2=(1-x)^2\left(-I+\frac{1}{2qi}\sin qi^2\right)^2;$$

d'où l'on tire :

$$x, \text{ou} \sin q(i^2+2it)=\frac{2qi.I-\sin qi^2}{\sqrt{(2qi.I-\sin qi^2)^2+(2qi.Y+\cos qi^2)^2}}.$$

Tableau des maxima *et* minima *pour les franges extérieures, et des intensités de lumière correspondantes.*

	VALEURS de v.	INTENSITÉS de LUMIÈRE.
Maximum du 1er ordre .	1,2172	2,7413
Minimum du 1er ordre. .	1,8726	1,5570
Maximum du 2e ordre. .	2,3449	2,3990
Minimum du 2e ordre . .	2,7392	1,6867
Maximum du 3e ordre. .	3,0820	2,3022
Minimum du 3e ordre . .	3,3913	1,7440
Maximum du 4e ordre. .	3,6742	2,2523
Minimum du 4e ordre . .	3,9372	1,7783
Maximum du 5e ordre. .	4,1832	2,2206
Minimum du 5e ordre . .	4,4160	1,8014
Maximum du 6e ordre. .	4,6369	2,1985
Minimum du 6e ordre . .	4,8479	1,8185
Maximum du 7e ordre. .	5,0500	2,1818
Minimum du 7e ordre . .	5,2442	1,8317

Il est à remarquer qu'aucun *minimum* n'est égal à zéro, comme dans les anneaux colorés ou les franges produites par le concours de deux faisceaux lumineux d'égale intensité, et que la différence entre les *maxima* et les *minima* diminue à mesure qu'on s'éloigne de la tangente au bord du corps opaque; ce qui explique très-bien pourquoi les franges qui bordent les ombres sont beaucoup moins vives et moins nombreuses que les anneaux colorés, ou celles qu'on obtient par la réflexion d'un point lumineux sur deux miroirs légèrement inclinés entre eux.

Pour calculer la largeur des franges extérieures à l'aide de ces nombres, il faut se rappeler que nous avons substitué les intégrales $\int dv.\cos qv^2$ et $\int dv.\sin qv^2$ aux intégrales du problême $\int dz.\cos\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)$ et $\int dz.\sin\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)$, en faisant $2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}=qv^2$; d'où l'on tire $z=v\sqrt{\frac{ab\lambda}{2(a+b)}}$; par conséquent :

$$\int dz.\cos\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)=\sqrt{\frac{ab\lambda}{2(a+b)}}.\int dv.\cos qv^2,$$

et $\int dz.\sin\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)=\sqrt{\frac{ab\lambda}{2(a+b)}}.\int dv.\sin qv^2$;

ainsi,

$$\left(\int dz.\cos\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2+\left(\int dz.\sin\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2$$

$$=\frac{ab\lambda}{2a(a+b)}\left[\left(\int dv.\cos qv^2\right)^2+\left(\int dv.\sin qv^2\right)^2\right]:$$

or, $\frac{ab\lambda}{2a(a+b)}$ étant un facteur constant, il en résulte que les deux quantités

$$\left(\int dz.\cos\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2+\left(\int dz.\sin\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)\right)^2$$

$$\text{et } \left(\int dv.\cos qv^2\right)^2+\left(\int dv.\sin qv^2\right)^2$$

atteindront en même temps leur *maximum* ou leur *minimum*; et si l'on représente par n la valeur de v qui répond à un *maximum* ou à un *minimum*, la valeur correspondante de z sera donnée par l'équation :

$$z=n\sqrt{\frac{ab\lambda}{2(a+b)}}.$$

On en déduit ensuite la largeur x de la frange par la proportion $a:z::a+b:x$, d'où l'on tire $x=\frac{z(a+b)}{a}$, ou substituant à la place de z sa valeur :

$$x=n\sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}}.$$

Il est à remarquer que le radical est précisément la distance entre le bord de l'ombre géométrique et le point qui répond à une différence d'un quart d'ondulation entre le rayon direct et le rayon parti du bord du corps opaque. Ce résultat était facile à prévoir ; car c'est précisément la valeur correspondante de v qui a été prise pour unité dans la table des valeurs numériques des intégrales $\int dv.\cos qv^2$ et $\int dv.\sin qv^2$.

Si l'on substitue dans la formule,

$$x=n\sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}},$$

à la place de n, la valeur qui correspond au *minimum* du 1er ordre, c'est-à-dire, au point le plus sombre de la bande obscure du 1er ordre, on a :

$$x=(1,873)\sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}}.$$

En partant de l'hypothèse que les franges sont produites par le concours des rayons directs et des rayons réfléchis sur le bord du corps opaque, et en supposant en outre que les rayons réfléchis éprouvent un retard d'une demi-ondulation, nous avons trouvé pour la même bande :

$$x=\sqrt{\frac{2(a+b)b\lambda}{a}}\text{ ou }x=2\sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}};$$

ainsi ces deux valeurs sont entre elles comme 2 à 1,873. Le second résultat est sensiblement plus petit que le premier, puisqu'il y a près d'un quinzième de différence, et l'on peut en conséquence, par des observations très-précises, décider laquelle des deux théories s'accorde le mieux avec l'expérience, en se servant d'une lumière homogène dont la longueur d'ondulation soit bien connue.

(*La fin au prochain Cahier, page* 337.)

PREMIER MÉMOIRE *sur la Dissolubilité des sels dans l'eau.*

PAR M. GAY-LUSSAC.

ON est étonné, en parcourant les divers ouvrages de chimie, du vague de nos connaissances sur la dissolubilité des sels. Elles se bornent à l'observation, pour ainsi dire banale, que les sels sont plus solubles à chaud qu'à froid, et à la solubilité de quelques-uns d'entre eux à une température ordinairement très-incertaine. Cependant c'est sur cette propriété des sels que sont fondés leur décomposition mutuelle, leur séparation et divers procédés d'analyse. Comme opération chimique, la dissolution mérite d'ailleurs une attention particulière; car bien que les causes auxquelles elle est due soient les mêmes que celles qui produisent les autres combinaisons, leurs effets ne se ressemblent pas. Il est à desirer que cette partie intéressante de la chimie, après être

restée si long-temps dans des généralités vagues, rentre enfin dans le domaine de l'expérience, et qu'on détermine la solubilité de chaque corps, non-seulement pour une température fixe, mais pour des températures variables. Dans les sciences naturelles, et surtout dans la chimie, les généralités doivent résulter de la connaissance minutieuse de chaque fait, et non la précéder. Ce n'est réellement qu'après avoir acquis cette connaissance qu'on peut s'assurer s'ils ont un type commun, et qu'il est permis de les énoncer d'une manière générale.

La solubilité d'un corps dans l'eau dépend de deux causes, de l'affinité et de la chaleur; ou, plus exactement, l'affinité d'un sel pour l'eau varie avec la température. Lavoisier, dont l'esprit philosophique embrassait toutes les parties de la chimie, est le premier qui ait expliqué d'une manière satisfaisante l'influence de la chaleur dans les dissolutions salines. « Si, par exemple, dit cet illustre chimiste, un sel est très-peu soluble par l'eau, et qu'il le soit beaucoup par le calorique, il est clair que ce sel sera très-peu soluble à l'eau froide, et qu'il le sera beaucoup, au contraire, à l'eau chaude; tel est le nitrate de potasse, et surtout le muriate sur-oxigéné de potasse. Si un autre sel, au contraire, est à-la-fois peu soluble dans l'eau et peu soluble dans le calorique, il sera peu soluble dans l'eau froide comme dans l'eau chaude, et la différence ne sera pas très-considérable; c'est ce qui arrive au sulfate de chaux. »

« On voit donc qu'il y a une relation nécessaire entre ces trois choses; solubilité d'un sel dans l'eau froide, solubilité d'un même sel dans l'eau bouillante, degré auquel ce même sel se liquéfie par le calorique seul et

par le concours de l'eau; que la solubilité d'un sel à chaud et à froid est d'autant plus grande qu'il est plus soluble par le calorique, ou, ce qui revient au même, qu'il est susceptible de se liquéfier à un degré plus inférieur de l'échelle du thermomètre. » (*Traité élémentaire de Chimie*. II. 39.)

Ces principes, en ne considérant que quelques exemples particuliers, paraissent justes et très-lumineux : on conçoit en effet que si un sel se fondait à 100°, il se mêlerait à cette température en toutes proportions avec l'eau, pour peu qu'il eût d'affinité pour elle; mais ils offrent un grand nombre d'exceptions, et pour fixer le degré d'exactitude et de généralité qu'on doit leur accorder, il est indispensable de chercher la solubilité d'un grand nombre de corps.

La détermination de la quantité d'un sel que l'eau peut dissoudre n'est pas une opération très-difficile; elle consiste à saturer l'eau exactement du sel dont on veut connaître la solubilité à une température déterminée, à peser une certaine quantité de cette dissolution, à la faire évaporer et à peser le résidu salin. Néanmoins la saturation de l'eau peut présenter beaucoup d'incertitude, et avant d'aller plus loin, il convient de l'examiner.

On obtient une dissolution saline parfaitement saturée des deux manières suivantes : en faisant chauffer l'eau avec le sel, et la laissant refroidir jusqu'à la température pour laquelle on cherche la solubilité; ou bien en mettant dans de l'eau froide un grand excès de sel et en élevant graduellement la température. Dans chaque cas, il faut maintenir constante la température finale pendant deux heures au moins, et remuer fréquemment la disso-

lution saline, pour être bien assuré de sa parfaite saturation. Par des expériences directes, faites avec beaucoup de soin, j'ai reconnu que ces deux procédés donnent absolument le même résultat, et que par conséquent on peut les employer indifféremment : je vais en citer quelques-unes.

J'ai porté dans les caves de l'Observatoire, dont la température ne varie pas, dans l'année, de plus de un centième de degré, deux dissolutions de nitre et de sulfate de soude, saturées à la température d'environ 25°. J'ai placé en même temps dans les caves deux flacons contenant, l'un des cristaux de nitre, et l'autre des cristaux de sulfate de soude, dans lesquels j'ai versé de l'eau à 8°, de manière que son niveau restât au-dessous de celui du sel. Au bout de quinze jours, j'ai fait évaporer des quantités connues de chaque dissolution, et j'ai obtenu les résultats suivans :

Température des caves, 11°,67.

Dissolution de nitre saturée :

Par refroidissement, 100 p. d'eau dissolvent 22,24 de sel;
Par simple contact. . . . . 22,22.

Dissolution de sulfate de soude saturée :

Par refroidissement, 100 p. d'eau dissolvent 10,11 de sel;
Par simple contact. . . . . 10,14.

D'autres expériences faites par les procédés que j'ai employés ordinairement pour avoir des dissolutions saturées m'ont donné des résultats dont les différences, en général très-petites, étaient tantôt dans un sens, tantôt

dans l'autre. J'admets donc comme un fait certain, que l'eau, pour une température déterminée, parvient au même degré de saturation, soit en laissant précipiter par le refroidissement l'excès du sel qu'elle tient en dissolution, soit en dissolvant immédiatement le même sel, pourvu qu'elle reste en contact avec lui pendant un temps suffisant. Ce résultat pouvait être prévu d'avance; car les circonstances, dans chaque cas, sont rigoureusement les mêmes. Je ferai aussi remarquer que le volume des cristaux qui se forment dans une dissolution, ou qu'on y met, n'a pas une influence sensible sur le terme de la saturation. C'est une conséquence de l'affinité chimique qui ne s'exerce qu'à des distances infiniment petites.

Cependant M. Thomson a trouvé que l'eau retient plus d'oxide d'arsenic quand on la sature par refroidissement, que lorsqu'on la met en contact avec l'oxide sans élever sa température. Mais je suis persuadé que c'est parce qu'il aura employé trop peu d'oxide relativement à l'eau, et qu'il n'aura pas prolongé suffisamment leur contact. On voit en effet, avec un peu de réflexion, que la saturation suit, dans sa marche, une progression géométrique décroissante, et que le temps nécessaire pour qu'elle s'achève dépend de la surface de contact du dissolvant et du corps à dissoudre.

Il arrive fréquemment que la dissolution d'un sel qui ne cristallise pas, et que, par cette raison, on regarde comme saturée, cède des molécules salines aux cristaux de même nature qu'on y plonge, et on a conclu de là que les cristaux d'un sel appauvrissent sa dissolution, et la font descendre au-dessous de son vrai point de saturation.

Ce fait est certain, il est même très-général ; mais il me semble qu'on l'a mal interprété.

La saturation, dans une dissolution saline de température invariable, est le terme auquel le dissolvant, toujours en contact avec le sel, ne peut plus ni en prendre ni en abandonner aucune portion. Ce terme est le seul que l'on doit adopter, parce qu'il est déterminé par des forces chimiques, et qu'il reste constant tant que ces forces restent constantes. D'après cette définition, toute dissolution saline pouvant abandonner du sel, sans que la température change, est nécessairement sur-saturée. Je vais montrer qu'en général la sur-saturation n'est point un terme fixe, et que la cause qui la produit est la même que celle qui retient l'eau liquide au-dessous de la température de sa congélation.

Lorsqu'un liquide doit devenir solide, et même fluide élastique, le changement ne s'opère pas toujours à la température à laquelle il devrait réellement se faire. L'eau, par exemple, dont le point de congélation est à 0°, peut, dans des circonstances convenables, rester liquide à 10 ou 12 degrés au-dessous ; et son ébullition, qui dans un vase de métal a lieu à 100°, est très-sensiblement retardée dans des vaisseaux de verre. Le même liquide peut aussi conserver en dissolution une plus grande quantité d'acide carbonique que ne le comporte la pression. Les effets de ce genre sont très-nombreux : leur intensité, dans des circonstances déterminées, devrait être constante ; mais comme ils ne paraissent dépendre que de l'inertie des molécules, qui est, en général, une force très-faible, et qui cède au plus léger effort, on n'est jamais sûr de parvenir au terme où cette intensité serait à son *maximum*. Par exemple, on a observé dans quelques expé-

riences que l'eau était restée liquide à 10° au-dessous de la température zéro ; mais rien n'indique qu'elle ne puisse conserver sa liquidité à un froid beaucoup plus considérable. Par inertie des molécules, qui est nécessairement une expression un peu vague, il faut entendre une résistance au changement d'état ou d'équilibre, pouvant être produite par plusieurs causes, telles que : la difficulté des changemens de position des molécules, dans un milieu parfaitement homogène ; la viscosité du dissolvant ; la propriété conductrice du calorique, qui, en opposant une résistance au dégagement ou à l'absorption du calorique, peut maintenir l'équilibre des molécules ; enfin, peut-être, une influence électrique.

Ce qu'il y a de certain, c'est que, par des causes qui paraissent étrangères à l'affinité, on prévient ou on détruit tous les effets dont on vient de parler. Ainsi, l'eau se congèle toujours à 0°, elle bout à-peu-près à 100° dans des vases de verre, elle ne prend point un excès d'acide carbonique, ou elle l'abandonne, lorsqu'on a soin de l'agiter. Il est vrai qu'un morceau de glace introduit dans de l'eau restée liquide au-dessous de 0° détermine très-surement sa cristallisation, à cause de l'affinité réciproque des molécules aqueuses qui est plus grande à l'état solide qu'à l'état liquide ; mais ce n'est qu'un moyen de plus de détruire l'inertie, et souvent des corps inertes, surtout quand ils ont des aspérités, produisent le même effet.

Les dissolutions salines sur-saturées ont les plus grands rapports avec l'eau restée liquide au-dessous de la température zéro, et tout ce qu'on vient de dire doit leur être appliqué. On peut obtenir ces dissolutions en évaporant très-lentement une portion du dissol-

vant ; mais il vaut encore mieux laisser refroidir par degrés insensibles les dissolutions saturées. Pour quelques sels, comme le sulfate et le carbonate de soude, le refroidissement peut être considérable avant que la cristallisation se détermine ; mais, en général, il doit être très-faible. La cause générale qui produit la sur-saturation étant évidemment la même pour chaque sel, il suffira d'observer ses effets dans ceux où ils se montrent avec le plus d'intensité. Je prendrai pour exemple le carbonate de soude.

Une dissolution sur-saturée de ce sel cristallise, comme l'eau restée liquide au-dessous de son point de congélation, soit par l'agitation, soit par l'immersion d'un cristal de carbonate de soude ou d'un corps étranger. De même encore que pour l'eau, on ne peut assigner le terme auquel la sur-saturation s'arrête : ce terme, dans chaque expérience, est tout-à-fait accidentel ; il dépend de la nature du vase, de son poli, de sa propriété conductrice, de l'agitation de l'air. Or, puisqu'on détermine la cristallisation dans une dissolution sur-saturée de carbonate de soude par une légère agitation il faut que la sur-saturation dépende non de l'affinité, mais d'une force purement mécanique ; car le mouvement ne peut par lui-même produire des effets chimiques.

Il y a un très-grand nombre de dissolutions salines qui cristallisent aussitôt qu'elles perdent une portion du dissolvant, ou qu'on abaisse un peu leur température, et il serait difficile, par les moyens indiqués précédemment, de reconnaître si elles peuvent être sur-saturées ; mais les phénomènes de la cristallisation ne laissent aucun doute à cet égard.

Si l'on considère en effet une dissolution saline dans

laquelle il s'est formé quelques cristaux épars, et qu'elle soit livrée à l'évaporation spontanée, les cristaux croîtront sans qu'il s'en forme de nouveaux, ou au moins ce cas se présentera très-souvent. Or, l'évaporation n'ayant lieu qu'à la surface du liquide, il faut nécessairement que les molécules salines qui ont perdu une portion de leur dissolvant restent néanmoins en dissolution jusqu'à ce qu'elles parviennent vers les cristaux qui se les approprieront : car, si elles se précipitaient à mesure qu'elles perdent leur dissolvant, on ne pourrait concevoir l'accroissement régulier des cristaux. C'est précisément ce qui arrive lorsque l'évaporation est trop rapide relativement à la sur-saturation que la dissolution peut prendre; il se dépose alors une foule de petits cristaux sur les parois du vase qui contient la dissolution saline.

La sur-saturation ne paraît pas dépendre de l'affinité du sel pour son dissolvant; car il s'en faut de beaucoup qu'elle lui soit proportionnelle. C'est encore une preuve qu'elle est due à une disposition particulière des molécules salines, en vertu de laquelle elles résistent plus ou moins à leur changement d'état.

J'ai choisi l'eau comme exemple, pour expliquer par analogie la sur-saturation des dissolutions salines, parce que la permanence de sa liquidité au-dessous de sa congélation ne peut être attribuée à l'affinité comme dans les dissolutions salines, où l'on peut supposer que la sur-saturation est due à l'affinité du sel pour le dissolvant. Or, comme les effets sont les mêmes dans des circonstances absolument semblables, il est bien probable que leurs causes sont aussi les mêmes.

Il existe depuis long-temps sur la permanence de sa-

turation des dissolutions salines une opinion que je n'avais jamais partagée, parce qu'elle ne me paraissait pas suffisamment démontrée, qui consiste en ce que l'eau saturée d'un sel peut l'abandonner par le repos, quoique sa température ne varie pas; mais M. Beudant, dans son Mémoire sur les causes qui peuvent faire varier les formes cristallines d'une même substance minérale, a cité plusieurs faits à l'appui de cette opinion, qu'il paraît adopter; et il ne m'est plus permis de ne pas la discuter.

« J'ai remarqué, dit M. Beudant (*Ann. de Chim. et de Phys.* VIII. 15.) qu'il peut se former des cristaux très-nets, sans évaporation quelconque, dans des solutions d'ailleurs très-étendues; mais il ne paraît pas que tous les sels soient dans le même cas. Pour m'en assurer, j'ai placé des solutions étendues de divers sels, toutes au même degré de densité, dans des flacons complètement remplis et parfaitement bouchés, que j'ai abandonnés dans une armoire; en les visitant long-temps après, j'ai reconnu qu'ils étaient également pleins, et que par conséquent il n'y avait pas eu d'évaporation. Or, dans plusieurs d'entre eux, les sels avaient cristallisé; mais j'ai remarqué que c'était précisément ceux qui avaient le plus de cohésion, comme le sulfate de potasse, l'alun, le borax, le muriate de baryte, etc.; tandis que ceux dont la cohésion était beaucoup plus faible, comme les nitrates de potasse et d'ammoniaque, les sulfates d'ammoniaque et de fer, le muriate de soude, etc., n'avaient pas donné de cristaux. »

Dans ce journal, VII. 79, j'ai déjà fait voir par des expériences, à mon avis très-concluantes, que des dissolutions salines saturées, dont la température est

constante, n'abandonnent pas de sel, et qu'elles restent homogènes dans toute leur étendue ; mais depuis j'ai fait de nouvelles expériences pour répondre à toutes les objections qu'on pourrait faire, et leur résultat a été précisément le même que celui des premières.

J'ai pris deux tubes de verre de deux mètres de longueur et de trois centimètres de diamètre ; j'ai mis dans l'un une dissolution de nitre saturée à la température des caves de l'Observatoire, et dans l'autre une dissolution également saturée de sel marin : deux autres tubes ont été remplis avec des dissolutions semblables dans lesquelles il n'y avait environ que quatre centièmes de chaque sel. Ces tubes, bien fermés, sont restés six mois dans les caves de l'Observatoire, dans une situation verticale. Au bout de ce temps, j'ai déterminé par l'évaporation la quantité de sel contenue dans l'eau de la partie supérieure et de la partie inférieure de chaque tube, et j'ai trouvé que les dissolutions étaient parfaitement homogènes. J'ajouterai encore que des cristaux de nitre, suspendus au-dessous de la surface d'une solution saturée de ce sel, n'ont éprouvé aucune diminution sensible, depuis maintenant plus de deux ans qu'ils sont placés à une température constante dans les caves de l'Observatoire.

Les faits que je viens de citer sont opposés à ceux observés par M. Beudant, et s'ils étaient produits par la même cause, ils ne pourraient exister en même temps : il me reste donc à montrer qu'en effet ils sont dus à des causes différentes.

M. Beudant ne donne pas de détails suffisans sur ses expériences ; mais on les imite parfaitement en prenant des dissolutions salines, saturées ou non, qu'on laisse

refroidir pendant quelque temps, et que l'on ramène ensuite à leur température primitive. Si le refroidissement a été assez grand pour sur-saturer les dissolutions, elles auront cristallisé dans leur partie inférieure ; si maintenant la température s'élève, les cristaux ne pourront pas se redissoudre en totalité, pourvu qu'on n'agite pas, parce que la couche liquide, en contact avec eux, acquerra en se saturant plus de densité que les couches supérieures ; elle restera conséquemment au fond du vase, et isolera les cristaux du dissolvant. Les solutions qui n'ont point cristallisé dans les expériences de M. Beudant n'étaient pas assez saturées pour que le refroidissement qu'elles ont éprouvé leur ait fait dépasser le terme de saturation. Il me paraît certain, d'après ces faits, que les cristallisations que M. Beudant a observées ont été seulement le résultat du refroidissement des dissolutions salines.

Maintenant je vais exposer les expériences que j'ai faites sur la solubilité des sels.

Ayant saturé l'eau d'un sel à une température déterminée, comme je l'ai indiqué plus haut, on prend un matras de la capacité de 150 à 200 grammes d'eau, et dont le col a de 15 à 18 centimètres de longueur ; après l'avoir pesé vide, on le remplit au quart environ de la dissolution saline, et on le pèse de nouveau. Pour évaporer l'eau, on saisit le matras par son col avec des pinces, et on le tient sur un brasier ardent sous un angle d'environ 45°, en ayant l'attention de le remuer continuellement et de donner au liquide un mouvement giratoire, afin de favoriser l'ébullition et de prévenir les soubresauts qui sont très-fréquens pour quelques sels, dès que, par l'é-

vaporation, il commence à se déposer des cristaux. Lorsque la masse saline est desséchée, et qu'il ne s'en dégage plus de vapeur d'eau à une chaleur presque rouge, on souffle dans le matras avec un tube de verre adapté à l'extrémité d'un soufflet, afin d'en chasser la vapeur aqueuse qui remplit sa capacité ; on laisse ensuite refroidir le matras, et on le pèse. On connaît alors la proportion de l'eau au sel qu'elle tenait en dissolution, et on l'exprime en représentant le poids de l'eau par 100. Chacun des résultats suivans est la moyenne de au moins deux expériences.

Solubilité du chlorure de potassium.

Température.	Chlorure dissous par 100 p. d'eau.
0°,00	29,21 ;
19,35	34,53 ;
52,39	43,59 ;
79,58	50,93 ;
109,60	59,26.

Si l'on construit ces résultats en prenant pour abscisses les degrés de température, et pour ordonnées les quantités de sel dissoutes par 100 parties d'eau, on verra qu'ils peuvent être représentés par une ligne droite. Pour trouver son équation, on a supposé constante l'ordonnée 34,53 correspondante à 19°,35, parce que les expériences de solubilité à des températures moyennes doivent être en général plus exactes que celles faites à des températures qui s'en éloignent beaucoup, et on a assujetti la ligne droite à passer successivement par l'extrémité de chaque ordonnée représentant la solubilité. Il en

ésulté, pour la tangente de l'angle que fait la droite
la ligne des abscisses, les valeurs suivantes :

0,2749; 0,2742; 0,2723; 0,2740,

la moyenne est 0,2738.

uation de la ligue de solubilité du chlorure de
ssium sera par conséquent :

$$y = 0{,}2738\,x^{0} + 29{,}23.$$

lle peut être employée avec certitude pour trouver
lubilité du chlorure de potassium à toutes les tem-
tures comprises entre les deux extrêmes 0° et 109°,6;
elle ne pourrait très-probablement plus servir à des
ératures beaucoup plus élevées ou beaucoup plus
es. Cette équation est construite dans la planche
la dénomination *chlorure de potassium*. Au moyen
division des lignes sur lesquelles sont comptées les
ératures et les solubilités, on trouvera facilement
calcul la solubilité correspondante à une tempéra-
déterminée.

Solubilité du chlorure de barium.

Température.	Sel dissous par 100 p. d'eau.
15°,64	34,86;
49,31	43,84;
74,89	50,94;
105,48	59,58.

uation de la ligne de solubilité est :

$$y = 0{,}2711\,x^{0} + 30{,}62.$$

ans ces expériences, le chlorure de barium est sup-
é anhydre; mais comme, lorsqu'il cristallise, il re-

tient deux proportions d'eau 22,65, pour une de chlorure 131,1, il faut nécessairement, pour comparer sa solubilité à celle des autres sels, augmenter chaque nombre de solubilité de ce même nombre multiplié par le rapport de 22,65 à 131,1, et diminuer d'autant la quantité d'eau. En faisant cette correction, les résultats précédens se changent en ceux-ci :

Température.	Chlorure dissous par 100 p. d'eau.
15°,64	43,50 ;
49,31	55,63 ;
74,89	65,51 ;
105,48	77,89.

Ces résultats sont représentés par une courbe peu différente de la ligne droite ; elle est tracée dans la planche.

Solubilité du chlorure de sodium.

Température.	Chlorure dissous dans 100 p. d'eau.
13°,89	35,81 ;
16,90	35,88 ;
59,93	37,14 ;
109,73	40,38.

La ligne de solubilité de ce chlorure n'est pas une ligne droite ; car l'équation d'une ligne passant par les deux ordonnées extrêmes 35,81 et 40,38 est $y = 0{,}04768\, x^{\circ} + 35{,}15$, et la solubilité, calculée d'après cette équation pour la température 59°,93, est 38,01, au lieu de 37,14 que donne l'expérience. A la température 0°, j'ai trouvé une solubilité un peu plus forte qu'à 13°,89, et je me propose de faire de nouvelles expériences pour éclaircir cette anomalie.

Solubilité du sulfate de potasse.

Température.	Sel dissous par 100 p. d'eau.
12°,72	10,57 ;
49,08	16,91 ;
63,90	19,29 ;
101,50	26,33.

La ligne de solubilité est une ligne droite dont l'équation est :

$$y = 0,1741\ x^{\circ} + 8,36.$$

Solubilité du sulfate de magnésie.

Température.	Sel dissous par 100 p. d'eau.
14°,58	32,76 ;
39,86	45,05 ;
49,08	49,18 ;
64,35	56,75 ;
97,03	72,30.

La ligne de solubilité est une ligne droite dont l'équation est :

$$y = 0,47816\ x^{\circ} + 25,76.$$

Le sulfate de magnésie est ici supposé anhydre ; mais comme il cristallise en retenant 7 portions d'eau 79,3 pour une proportion de sel 74,6, chaque nombre qui exprime la solubilité doit être augmenté de ce nombre multiplié par le rapport de 79,3 à 74,6, et la quantité d'eau correspondante être diminuée d'autant. On aura ainsi, pour la solubilité du sulfate de magnésie cristallisé, les résultats suivans :

Température.	Sel cristallisé dissous par 100 p. d'eau.
14°,58	103,69;
39,86	178,34;
49,[illegible]8	212,61;
64,35	295,13;
97,03	644,44.

Ces résultats ne sont plus proportionnels aux températures; ils croissent dans un rapport beaucoup plus grand.

Solubilité du sulfate de soude.

Température.	Sel anhydre dissous par 100 p. d'eau.	Sel cristallisé dissous par 100 p. d'eau.
0°,00	5,02	12,17;
11,67	10,12	26,38;
13,30	11,74	31,33;
17,91	16,73	48,28;
25,05	28,11	99,48;
28,76	37,35	161,53;
30,75	43,05	215,77;
31,84	47,37	270,22;
32,73	50,65	322,12;
33,88	50,04	312,11;
40,15	48,78	291,44;
45,04	47,81	276,91;
50,40	46,82	262,35.
59,79	45,42	
70,61	44,35	
84,42	42,96	
103,17	42,65	

On voit par ces résultats que la solubilité du sulfate de soude suit une marche très-singulière. Après avoir augmenté rapidement jusqu'à la température d'environ 33°, où elle est à son *maximum*, elle va en diminuant jusqu'à 103°,17, et à ce terme, elle est à-peu-près la même que celle qui correspond à 30°,5. Le sulfate de soude offre le second exemple d'un corps dont la solubilité décroît lorsque la température augmente, à partir d'un certain terme; car M. Dalton a déjà reconnu à la chaux la même propriété. On a tracé dans la planche la ligne de solubilité du sulfate anhydre; elle est formée par deux branches convexes vers l'axe des abscisses, ayant un point de rebroussement correspondant à-peu-près à la température 33°. On n'a pu représenter qu'une petite portion de la ligne de solubilité du sulfate cristallisé à cause de l'étendue des ordonnées : cette ligne ne pourrait d'ailleurs servir au-delà de 50°, parce que le sulfate de soude ne retient plus alors une quantité d'eau aussi considérable que dans les températures basses.

Solubilité du nitrate de baryte.

Température.	Sel dissous par 100 p. d'eau.
0°,00	5,00;
14,95	8,18;
17,62	8,54;
37,87	13,67;
49,22	17,07;
52,11	17,97;
73,75	25,01;
86,21	29,57;
101,65	35,18.

Solubilité du nitre.

Température.	Sel dissous par 100 p. d'eau.
0°,00	13,32 ;
5,01	16,72 ;
11,67	22,23 ;
17,91	29,31 ;
24,94	38,40 ;
35,13	54,82 ;
45,10	74,66 ;
54,72	97,05 ;
65,45	125,42 ;
79,72	169,27 ;
97,66	236,45.

Solubilité du chlorate de potasse.

Température.	Sel dissous par 100 p. d'eau.
0°,00	3,33 ;
13,32	5,60 ;
15,37	6,03 ;
24,43	8,44 ;
35,02	12,05 ;
49,08	18,96 ;
74,89	35,40 ;
104,78	60,24.

Les lignes de solubilité de ces trois sels sont représentées dans la planche : elles montrent de suite à l'œil que la solubilité de chaque sel, surtout celle du nitre, suit une marche extrêmement rapide. Il eût été possible de les représenter par une expression algébrique ; mais leur tracé graphique a l'avantage de donner promptement

et sans calcul, avec une précision au moins aussi grande, la solubilité pour toutes les températures comprises entre celles auxquelles les expériences ont été faites. Au reste, je me propose de donner, dans un second Mémoire, la solubilité d'un plus grand nombre de sels, et de la présenter sous forme de tables, au moins de 5 en 5 degrés de température.

Les résultats que j'ai obtenus, quoique peu nombreux, suffisent pour montrer que si on ne peut se flatter de réduire la solubilité des corps à des principes généraux, elle mérite néanmoins une attention particulière, précisément par les écarts qu'elle présente. Je m'abstiens, dans ce moment, d'en tirer aucune conséquence; j'attendrai le secours de nouvelles expériences.

EXTRAIT *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 28 *juin* 1819.

M. BARBIER demande des commissaires pour une nouvelle machine de son invention.

M. Boilleau fils demande à faire le dépôt d'un paquet cacheté renfermant les dessins de quelques nouveaux instrumens de musique. Ce dépôt est accepté.

M. Dulau lit un Mémoire intitulé : *Essai théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé.*

Nous ferons connaître ce travail intéressant, après que les commissaires auront fait leur rapport.

M. Girard annonce que le Mémoire présenté par M. Dupieu, au sujet des couvertures en tuile, ne renferme aucun procédé nouveau, et ne doit pas fixer l'attention de l'Académie.

On lit un *Mémoire sur les bateaux à vapeur*. Il est renvoyé à l'examen d'une commission.

La Section de Chimie présente, en comité secret, la liste suivante de candidats pour la place de correspondant vacante, dans son sein, par la mort de M. Nicolas: MM. Desormes, à Verberie; Bérard, à Montpellier; Hatchett, à Londres; Stromayer, à Gottingue; Braconnot, à Nanci; Colin, à Dijon.

Séance du lundi 5 juillet.

M. Latreille lit un *Mémoire sur l'Atlantide de Platon.*

M. Beudant commence la lecture des *Observations géologiques* qu'il a recueillies dans son dernier voyage, *sur les filons agentifères et aurifères de Schemnitz en Hongrie.*

L'Académie procède au scrutin pour l'élection d'un correspondant. M. Desormes est nommé.

Séance du lundi 12 juillet.

M. Dutrochet adresse un nouveau *Mémoire touchant l'action des corps organisés sur les aiguilles magnétiques.*

On reçoit une suite au *Mémoire* qui a été déjà lu *sur les bateaux à vapeur.*

M. Biot donne communication d'une lettre adressée

à M. Andrieux *sur les aérolithes tombés près de Barbézieux.*

M. Decandolle présente un flacon contenant de la neige rouge fondue qui a été recueillie pendant le voyage du capitaine Ross dans la baie de Baffin. Il rend compte de l'analyse qu'il en a faite, et d'où il résulterait que la matière colorante est de nature organique. (Cette conclusion est d'accord avec celle que M. Wollaston a tirée d'un travail analogue que nous insérerons prochainement dans ce journal.)

M. Girard lit un *Mémoire sur l'écoulement de l'air atmosphérique et du gaz hydrogène carboné par des tuyaux de conduite.*

M. Dupuytren lit un *Mémoire sur la ligature des artères carotides primitives.* (Nous ferons connaître l'opinion des commissaires qui ont été chargés d'examiner ce Mémoire.)

Séance du lundi 19 *juillet.*

Le Ministre de l'Intérieur demande communication du *Mémoire* de M. Fourier *sur la théorie analytique des assurances.*

M. Lescallier transmet, de la part de M. Hosack, le modèle en plâtre d'une pierre appelée *trilobite.*

M. Brongniart examinera ce modèle.

M. Aldini présente à l'Académie de nouveaux appareils galvaniques.

M. Poisson lit un *Mémoire sur l'intégration de l'équation aux différences partielles qui exprime le mouvement du son.*

M. Beudant continue la lecture de son *Mémoire sur les roches de Schemnitz.*

M. Pelletier lit un *Mémoire sur une nouvelle base salifiable organique.*

(Nous ne tarderons pas à faire connaître ce Mémoire à nos lecteurs.)

De *l'Effet des gouttes de pluie sur les plantes lorsqu'elles se trouvent disposées de manière à concentrer les rayons du soleil.*

Par Bénédict Prevost.

On prétend que certaines maladies des plantes (la brûlure entr'autres) « sont quelquefois produites par les » gouttes d'eau qui font l'effet d'un verre convexe, et » occasionent des brûlures par petites taches, sur l'é» corce et les feuilles des arbres. » Voyez *Dict. d'Hist. nat.*, t. II, pag. 332, art. *Arbre*, signé *Tollard* aîné; et la même opinion est émise par plusieurs autres auteurs respectables, particulièrement par l'abbé Rosier, dans son *Dictionnaire d'Agriculture.*

J'ai depuis long-temps soupçonné que c'était là une de ces assertions qu'on reçoit sans les examiner, et qu'on donne comme on les a reçues; mais j'avais jusqu'ici (l'été de 1818) négligé de la soumettre à l'épreuve du calcul et de l'expérience.

Le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction de l'air dans l'eau, pour la lumière jaune, ce qui est à-peu-près la réfraction moyenne ou celle de la lumière

blanche, est de 4:3. D'après cela, si l'on calcule la *distance focale principale* ou celle du foyer principal des rayons parallèles à la surf. d'émergence, on trouve pour une goutte sphérique environ les $\frac{3}{4}$ du *diamètre*; pour une goutte hémisphérique trois fois sa hauteur ou $\frac{3}{2}$ du diamètre auquel elle appartient; pour une lentille d'eau composée de deux segmens sphériques égaux, ayant chacun pour hauteur $\frac{1}{2}$ du rayon de la sphère à laquelle ils appartiennent, ou pour une telle lentille dont l'épaisseur est égale au rayon de cette sphère, environ $\frac{3}{2}$ du rayon ou $\frac{3}{4}$ du diamètre.

Nous bornant à ces trois cas, et supposant, dans le premier, le diamètre de 2 lignes; dans le second, la hauteur de l'hémisphère ou le rayon d'une ligne, et dans le troisième, l'épaisseur de la goutte ou le rayon de la sphère de deux, nous aurons:

Pour le premier cas, le foyer principal à *une ligne et demie* de la surface d'émergence;

Pour le second et le troisième, à trois lignes.

Ainsi, par la théorie, en n'empruntant de l'expérience que le rapport de réfraction pour l'eau, nous trouvons la proposition inadmissible; mais sans avoir encore recours à des expériences directes, et en accordant même, contre ce que nous venons de démontrer, que le foyer principal de la plupart des gouttes d'eau exposées au soleil tombe également sur la feuille, voyons s'il est probable qu'il en puisse résulter quelque effet nuisible pour celle-ci.

La surface qu'une goutte d'eau sphérique de deux lignes de diamètre présente au soleil est d'environ $6^l,25$ carrées; mais:

1°. Il s'en faut de beaucoup que tous les rayons qui traversent une goutte d'eau (sphérique ou hémisphérique surtout) arrivent à-peu-près au même point ou au foyer. On peut prouver que celui-ci n'en reçoit qu'une assez petite partie.

2°. Tous ceux qui pénètrent le liquide ne le traversent pas ; une partie est absorbée, et sert seulement à élever un peu sa température. Une partie est réfléchie en arrière ou de côté, et ressort.

3°. La plupart des rayons sont réfléchis ; et ceux-là seulement dont l'incidence est très-petite échappent en grande partie à la réflexion.

4°. Une partie de la lumière ou du calorique qui l'accompagne ou qu'elle produit, et qui contribuerait à augmenter l'intensité du foyer, est employée à former de la vapeur qui refroidit, au contraire, la petite masse d'eau, ou plutôt l'empêche de s'échauffer et de causer par là quelque dommage à la feuille. Nous verrons que cette assertion est confirmée par l'expérience.

5°. Pour peu que l'air soit agité, le foyer changera de place continuellement ; ce qui l'empêchera de produire quelque effet sensible, lors même qu'il en aurait pu produire dans l'état de repos. D'ailleurs, quant aux gouttes à-peu-près sphériques, il y a beaucoup de feuilles sur lesquelles elles ne sauraient demeurer.

Expériences directes.

1re *Expérience.* J'ai prié quelques amis de placer sur de jeunes feuilles de divers arbres ou d'autres plantes, des gouttes d'eau plus ou moins convexes et dans diffé-

rentes situations; mais quoique le soleil pendant ces expériences eût souvent beaucoup de vivacité, on n'a jamais observé aucune altération que l'on pût soupçonner provenir de l'effet des gouttes d'eau agissant à la manière d'une lentille.

2[e] *Expérience.* Une loupe de sept à huit lignes de diamètre et d'environ deux pouces et demi de foyer, qui met instantanément le feu à de bon amadou, et produit en quelques secondes une altération considérable sur les feuilles, n'y produit plus d'effet perceptible lorsqu'on en recouvre la surface en laissant seulement à découvert, dans le milieu, un espace circulaire d'environ une ligne et demie de diamètre. Cependant cet espace est plus grand que celui que présentent la plupart des gouttes de pluie qui sont censées agir sur les feuilles.

3[e] *Expérience.* J'ai placé des feuilles de diverses plantes, toutes très-tendres ou très-jeunes, sur plusieurs doubles de papier joseph très-mouillé et trempant dans un peu d'eau au fond d'une assiette de faïence blanche; j'ai placé sur ces feuilles des gouttes d'eau presque toutes à-peu-près sphériques ou aplaties seulement par leur poids; mais quoique cette expérience ait été variée de mille manières, et répétée très-souvent et par un soleil ardent, je n'ai jamais observé aucune altération qui pût raisonnablement être attribuée à la cause en question (1). Je pourrais même affirmer sans restriction que je n'y ai jamais observé aucune altération quelconque.

---

(1) On a presque toujours laissé les feuilles exposées au soleil jusqu'à ce que toute l'eau fût évaporée.

4e *Expérience.* Des feuilles chargées de gouttes d'eau comme les autres, mais placées sur des papiers beaucoup moins mouillés, m'avaient présenté un résultat assez curieux, et qui prouve de la manière la plus claire que le dessous des gouttes, bien loin d'être altéré par la lumière qu'elles y concentrent, est, au contraire, préservé par le rafraîchissement qu'occasione l'évaporation de l'eau lorsque le reste de la feuille est altéré par une trop forte chaleur; car, dans le cas dont il s'agit, toute la surface de chaque feuille ayant jauni, le dessous des gouttes demeurait parfaitement sain; de sorte qu'on voyait sur ce fond jaune ou fauve autant de taches vertes, intactes et bien terminées, qu'il y avait eu de gouttes sur la feuille, et précisément aux mêmes places. Chacune de ces taches saines avait même un diamètre un peu plus grand que celui de cette goutte sous laquelle elle s'était trouvée.

5e *Expérience.* Ce qui prouve encore que c'est bien le rafraîchissement occasioné par l'évaporation qui empêche l'eau de s'échauffer, et, par suite, la partie de la feuille située au-dessous, c'est que le revers de quelques feuilles qui ne touchaient pas tout-à-fait le papier mouillé présentait sur les places correspondantes aux gouttes de petits amas de gouttelettes évidemment produits par la condensation de la vapeur qui s'était élevée du papier sur ces places rafraîchies.

Ainsi, loin que ces gouttes d'eau occasionent aucune altération par une trop grande chaleur, la place où elles se trouvent est beaucoup plus refroidie par l'évaporation qu'échauffée par la concentration de la lumière qui y arrive.

Il me paraît donc que l'opinion des physiciens ou des agriculteurs qui pensent qu'une des causes de la *brûlure* ou de ces taches qui paraissent quelquefois sur les feuilles ou sur d'autres parties des plantes, est la concentration de la lumière du soleil par les gouttes de pluie n'est nullement fondée.

PARTICULARITÉS *relatives à un fort tremblement de terre qui se fit sentir à Lisbonne le 2 février* 1816.

M. *Marino-Miguel* FRANZINI, l'un des plus habiles observateurs que possède maintenant le Portugal, a eu la complaisance de nous faire parvenir le résumé des observations météorologiques qu'il a faites à Lisbonne durant les années 1816, 1817 et 1818. Ce résumé, dont nous comptons tirer parti prochainement, est précédé de quelques notes relatives à des phénomènes plus ou moins remarquables, observés dans le même intervalle, et parmi lesquels le tremblement de terre du 2 février 1816 nous a semblé mériter une mention particulière. Voici la traduction de la note en question.

« Le 2 février 1816, à $0^h. 40'$ du matin (le thermomètre marquait alors $+ 10°$ centigrades, le baromètre 753,1 milli., et le vent soufflait de l'ouest), on sentit à Lisbonne une forte secousse de tremblement de terre qui dura presque une minute entière. Les oscillations paraissaient se faire du nord-est au sud-ouest. Ce phénomène causa une épouvante générale parmi les habitans de cette ville; la plupart sortirent de

» leurs maisons dans la crainte que les secousses ne » se renouvelassent : on en ressentit en effet de nouvelles à $6^h \frac{3}{4}$ du matin ; mais elles n'eurent ni l'intensité ni la durée des précédentes. Une pluie très-abondante tomba peu de temps après les premières oscillations.

» Ce tremblement de terre se fit sentir non-seulement » dans toute l'étendue du royaume, mais même jusqu'à » la distance de trois cents lieues à l'occident de Lisbonne, comme cela résulte des extraits suivans de » deux journaux de navigation.

» *Extrait du journal tenu à bord du bâtiment* » *nommé* le Marquis de Angeja, *pendant son voyage* » *du Bengale à Lisbonne*....... Le 1er février 1816, » à $11^h \frac{3}{4}$ du soir (ce qui, d'après la position du bâtiment, en comptant les heures sur le méridien » de Lisbonne, correspondait au 2 février, à $0^h.46'$ du » matin), on ressentit dans le navire un mouvement » qui, de prime abord, fit croire que la quille venait » de toucher sur un haut-fond et le sillonnait. Cet effet, » qui sans doute dépendait d'un tremblement de terre, » dura plus de deux minutes ; il se renouvela à 5 du » matin (6^h de Lisbonne), mais avec beaucoup moins » d'intensité. Les observations astronomiques du 5 février nous apprirent qu'au moment du grand tremblement de terre, notre bâtiment se trouvait par » 34° 15' de latitude nord, et 15° 10' de longitude occidentale comptée du méridien de Lisbonne ; ce qui » revient à dire que nous étions à l'*ouest-sud-ouest* de » cette ville, et à 270 lieues de distance.

» *Extrait du journal tenu à bord du* brigantin *le pa-*

» *quebot de Lisbonne, dans sa traversée du Brésil au* » *Portugal.* ...... Le 2 février, à 0^h. 15′ du matin » (0^h 42′ à Lisbonne), nous ressentîmes de grandes » secousses qui durèrent 5 ou 6 minutes. Ce phéno- » mène se renouvela à 3^h. $\frac{1}{4}$ (3^h 40′ à Lisbonne), » mais seulement avec une durée de 2 ou 3 secondes. » Nous étions alors par 36° 56′ de latitude nord et » 6° 52′ de longitude occidentale, ou à 120 lieues à » l'*ouest-sud-ouest* de Lisbonne; enfin à 5^h $\frac{1}{2}$ du matin » (5^h. 57′ à Lisbonne), nous ressentîmes les mêmes se- » cousses, pour la troisième fois, pendant trois minutes.... » On voit, par ce qui précède, que la première se- » cousse a été ressentie à fort peu près au même ins- » tant, dans des lieux fort éloignés les uns des autres. »

Les journaux annoncèrent, dans le temps, que le même tremblement de terre s'était fait sentir à l'île de Madère et en Hollande.

QUELQUES *nouveaux détails sur la Comète de* 1819.

Nous avons déjà inséré un article sur cette comète, dans le précédent Cahier. M. Bouvard nous a depuis adressé la lettre suivante, où le lecteur trouvera les rectifications importantes qu'il faut faire aux premiers résultats obtenus par cet astronome.

« La comète, située dans la constellation du Lynx, qui s'est montrée tout-à-coup dans les premiers jours de

juillet, est maintenant trop éloignée de la terre pour être visible à la simple vue.

» Le temps ayant été assez beau pendant le mois dernier, les astronomes ont fait un très-grand nombre d'observations de cet astre, de manière à pouvoir déterminer ses élémens paraboliques avec beaucoup d'exactitude; ceux que je publie aujourd'hui se fondent sur les observations faites depuis le 3 juillet jusqu'au 1er de ce mois; voici ces élémens :

» Instant du passage de la comète à son périhélie : le 28 juin, à 5 heures 17 minutes, temps moyen, compté de minuit.

» Distance périhélie, la distance de la terre au soleil étant prise pour unité 0,34007

» Longitude du nœud ascendant . .	273° 42′ 34″;
» Longitude du périhélie	287 4 55;
» Inclinaison de l'orbite	80 45 0;
» Mouvement héliocentrique	direct.

» Ces élémens représentent les observations assez exactement; les plus grandes erreurs en longitude ne s'élèvent pas au-dessus de 26″, et elles sont au-dessous de 50″ pour la latitude. Ces élémens seront probablement perfectionnés à l'aide des observations que l'on fera encore avant l'entière disparition de la comète; mais il est probable qu'on ne pourra ni déterminer son ellipse, ni, par conséquent, annoncer son retour. Déjà, dès ce moment, on peut affirmer que cet astre ne ressemble à aucune des comètes anciennement observées : il était donc impossible de prédire son apparition.

» Il résulte des élémens précédens, que lors du passage de la comète au périhélie, le 28 juin, sa distance au soleil était d'environ 12 millions de lieues. Le 3 août, cette distance était à-peu-près égale à 34 millions de lieues. Enfin, le 3 juillet, quand la comète a été pour la première fois aperçue à Paris, elle était éloignée de la terre d'environ 28 millions de lieues.

» Dans les premiers jours de juillet dernier, j'avais déjà calculé à la hâte les élémens de l'orbite de cette comète; mais ces élémens n'étaient alors fondés que sur des observations très-rapprochées : je dois ajouter qu'il s'était glissé des erreurs graves dans la réduction d'une des ascensions droites, et une faute de signe dans l'une des équations fondamentales, et que, par suite, mes premiers résultats, qui ont été imprimés dans les journaux et autres recueils périodiques, sont entièrement erronés et doivent être considérés comme non avenus. »

A l'Observatoire royal, le 6 août 1819.

NOUVEAU *Moyen pour faire des microscopes simples de verre, proposé et exécuté par Thomas Sivright, membre de la Société royale d'Edimburgh, etc.*

DIVERSES méthodes ont été proposées, à plusieurs époques, à l'aide desquelles des personnes peu au fait des procédés des arts, peuvent exécuter elles-mêmes des microscopes simples d'un pouvoir amplifiant considérable, et doués, néanmoins, d'un grand degré de netteté.

Dans la plus usuelle de ces méthodes, on mouille l'extrémité d'un fil métallique et on y fixe ainsi fort aisément divers petits fragmens de crown-glass ; ces fragmens étant ensuite tenus quelques instans dans la flamme d'une chandelle, se fondent et tombent après avoir pris la forme de petites sphères. Une autre méthode consiste à transformer préalablement le verre en fils, dont les extrémités, placées dans la flamme d'une chandelle, se façonnent en globules qui peuvent ensuite être aisément détachés du fil. Lorsqu'on adapte le globule à une monture en cuivre ou en plomb, il faut avoir l'attention d'écarter sa fracture du champ de la vision. Stephen Gray recommandait de faire des microscopes avec des gouttes d'eau ; mais on ne peut considérer ce procédé que comme une expérience amusante. Enfin, les microscopes faits, d'après l'idée de M. Brewster, en déposant des gouttes d'un vernis transparent sur une ou sur les deux faces d'une lame de verre, donnent d'excellentes images ; mais ils ont l'inconvénient de n'être ni durables ni portatifs.

Les défauts les plus saillans des globules formés par ces méthodes sont : la petitesse de leurs diamètres ; les irrégularités de leurs figures, et la difficulté de les adapter à une monture en cuivre.

La méthode suivante, proposée et exécutée par M. Sivright, ne présente pas les mêmes inconvéniens, et sera sans doute considérée comme une utile acquisition par ceux qui n'ont point les moyens d'acheter des microscopes composés, ou qui vivent dans des villes où il n'y a pas d'opticiens.

Prenez une feuille de platine, de l'épaisseur des feuilles ordinaires d'étain ; pratiquez-y deux ou trois ouvertures

circulaires de $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{10}$ de pouce de diamètre, et distantes l'une de l'autre d'un demi-pouce environ; adaptez à ces ouvertures de petits fragmens de verre assez larges pour qu'ils ne tombent pas à travers. Quand ces fragmens sont fondus à la flamme du chalumeau, ils prennent la forme d'une lentille et adhèrent fortement au métal : en sorte que, par cette méthode, la lentille est à-la-fois façonnée et montée. Il faut avoir l'attention de ne jamais employer, dans cette opération, des fragmens de verre sur lesquels il y aurait des traits de diamant ou de lime; car ces traits ne disparaîtraient pas, quelle que fût d'ailleurs la température donnée par le chalumeau.

Au-dessus de $\frac{1}{10}$ de pouce de diamètre, les lentilles fabriquées par cette méthode commencent à ne plus être aussi bonnes que dans des dimensions inférieures. Il arrive quelquefois qu'elles renferment des bulles d'air; mais en en faisant plusieurs, on en trouvera bientôt qui seront totalement exemptes de défauts. Au lieu d'une feuille de platine, on pourra se servir avec un égal avantage d'un fil du même métal, recourbé en cercle et de manière qu'il puisse supporter le petit fragment de verre.

On emploie le platine, de préférence, dans cette opération, parce que le verre est alors plus parfaitement fondu que si on se servait de tout autre métal : ceci tient peut-être au faible pouvoir conducteur du platine et à la propriété qu'il a de conserver son éclat. Le platine, ne s'oxidant point, adhère au verre avec plus de force sur le pourtour de la lentille; ajoutons qu'on peut l'employer fort mince, puisque la température à laquelle il fond est supérieure à celle qui suffit pour maintenir le verre dans un état de liquidité complet.

M. Sivright est pareillement parvenu à former, par la fusion, des lentilles *plano-convexes* : ce qui n'avait pas été tenté jusqu'ici. Pour cela, il prend une plaque de topaze parfaitement plane et polie, qu'il obtient facilement par la fracture ; ensuite il dépose dessus un petit fragment de verre, et expose le tout à une chaleur intense. La surface supérieure du verre liquide, acquiert alors une forme sphérique, en vertu de l'attraction mutuelle de ses parties ; et la surface inférieure, en contact avec la face plane et polie de la topaze, devient plane elle-même.

(*The Edimburgh philosophical Journal*, n° 1.)

Expériences *sur la structure et le pouvoir réfringent des humeurs contenues dans l'œil de l'homme.*

Par M. Brewster.

Pour déterminer les forces réfringentes de ces humeurs, M. Brewster les a successivement renfermées dans un prisme d'un angle constant, formé par deux lames planes de verre ; et afin d'éviter toute cause d'erreur, les réfractions ont été constamment comparées à celles que l'eau donnait dans les mêmes circonstances. Voici la table des résultats :

	Rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction.
Eau pure	1,3358 ;
Humeur aqueuse.	1,3366 ;

ır vitrée	1,3394 ;
ppe extérieure du cristallin. . .	1,3767 ;
du cristallin	1,3990 ;
tion moyenne du cristallin. . . .	1,3839.

---

tre du cristallin.	0,378 de pouce ang.
— de la cornée	0,400
eur du cristallin	0,172
— de la cornée	0,042.

octeur Gordon, qui s'était associé au docteur pour ces expériences, lui fournissait des yeux, ures après la mort de ses malades. Il avait été néralement admis, jusqu'ici, que les humeurs et vitrée étaient douées de la même force réfrin-ne l'eau pure; on voit néanmoins, par la table nte, que les différences dans le rapport du sinus nce au sinus de réfraction, pour ces trois liqui-rtent sur la troisième décimale.

d on expose le cristallin de l'homme à de la lu-olarisée, on aperçoit quelques-uns des phéno-qui accompagnent la double réfraction, et, entre les quatre secteurs lumineux qu'offrent les yeux drupèdes. La cornée et le cristallin possèdent des réfractions de genres opposés; quant à l'iris, semi-transparent, il donne, avec de la lumière po-les mêmes résultats que le cristallin. (Voy. *Ann.* V, pag. 431.)

(*The Edimb. philos. Journal.* I, p. 42.)

Sur *les Variations diurnes et annuelles de l'aiguille aimantée.*

Les observations contenues dans les deux tables suivantes ont été faites par le colonel Beaufoy, à Bushey-Heath, près de Stanmore, par 51°.37'.42" de latitude nord et 1'.20",7 de longitude occidentale, comptée de Greenwich. Ces observations ont commencé dans le mois d'avril 1817, et finissent en mars 1819; en sorte qu'elles embrassent un intervalle de vingt-quatre mois. La première des deux tables renferme, pour chaque mois, les déclinaisons moyennes du matin (8 heures et demie environ); de 1 heure un quart après midi, et du soir (environ 7 heures). On voit, dans la colonne des différences, que les déclinaisons de l'aiguille, en 1819, ont généralement surpassé celles qu'on avait observées en 1818, aux époques et heures correspondantes : le mois de février seulement offre une différence contraire; mais comme, dans le mois de mars suivant, la déclinaison en 1819, surpasse de nouveau celle de 1818, il n'y a, comme on voit, aucune raison de supposer, comme quelques personnes l'avaient annoncé, que l'aiguille est parvenue aux limites de sa déclinaison occidentale, et qu'elle commence à se rapprocher du méridien. En prenant la moyenne entre tous les résultats, on trouve que l'accroissement de déclinaison, pour une année, entre 1818 et 1819, a été de 2'.25".

La table II fait connaître l'étendue moyenne des oscillations journalières de l'aiguille pour les divers mois de l'année. Ces oscillations ont été à leur *maximum* en avril et août; le *minimum* a été observé en décembre. Les variations du soir manquent quelquefois : on remarquera qu'elles sont généralement plus faibles que celles du matin.

TABLE Ire.

Déclinaisons moyennes observées dans différens mois.

		1817, 1818.	1818, 1819.	Différences.
Avril.	Matin. . . .	24°31′52″	24°34′06″	+ 2′14″
	Après midi.	24 44 43	24 44 50	+ 0 07
	Soir	24 35 58	24 36 36	+ 0 38
Mai.	Matin . . .	24 32 20	24 36 18	+ 3 58
	Après midi.	24 42 35	24 45 49	+ 3 14
	Soir	24 34 45	24 38 35	+ 3 50
Juin.	Matin . . .	24 31 09	24 33 47	+ 2 38
	Après midi.	24 42 14	24 45 11	+ 2 57
	Soir	24 34 05	24 37 40	+ 3 35
Juillet.	Matin . . .	24 31 14	24 34 24	+ 3 10
	Après midi.	24 42 06	24 44 59	+ 2 53
	Soir. . . .	24 35 43	24 38 14	+ 2 31
Août.	Matin . . .	24 31 16	24 34 40	+ 3 24
	Après midi.	24 42 51	24 45 58	+ 3 07
	Soir	24 33 45	24 37 50	+ 4 05
Sept.	Matin . . .	24 33 02	24 34 29	+ 1 27
	Après midi.	24 41 36	24 45 22	+ 3 46
	Soir	24 34 38	24 37 28	+ 2 50
Octob.	Matin . . .	24 31 06	24 35 36	+ 4 30
	Après midi.	24 40 46	24 43 28	+ 2 42
	Soir	— — —	— — —	— —
Nov.	Matin . . .	24 31 49	24 33 24	+ 1 35
	Après midi.	24 37 55	24 41 41	+ 3 46
	Soir	— — —	— — —	— —
Déc.	Matin . . .	24 34 03	24 37 04	+ 3 01
	Après midi.	24 38 02	24 41 20	+ 3 18
	Soir	— — —	— — —	— —
Janv.	Matin . . .	24 34 02	24 35 42	+ 1 40
	Après midi.	24 39 57	24 39 54	— 0 03
	Soir	— — —	— — —	— —
Févr.	Matin . . .	24 34 22	24 34 17	— 0 05
	Après midi.	24 40 51	24 39 55	— 0 56
	Soir	— — —	— — —	— —
Mars.	Matin . . .	24 33 18	24 33 18	0 00
	Après midi.	24 41 37	24 41 42	+ 0 05
	Soir	24 33 47	24 35 17	+ 1 30

TABLE II.

Valeurs des oscillations journalières moyennes de l'aiguille.

DIFFÉRENCES.

Du matin à l'après-midi.		De l'après-midi au soir.	
Avril	11'48"	Avril	8'30"
Mai	9 53	Mai	7 32
Juin	11 15	Juin	7 50
Juillet	10 43	Juillet	6 34
Août	11 26	Août	8 34
Septembre	9 44	Septembre	7 26
Octobre	8 46	Octobre	— —
Novembre	7 10	Novembre	— —
Décembre	4 07	Décembre	— —
Janvier	5 03	Janvier	— —
Février	6 03	Février	— —
Mars	7 02	Mars	7 08

(*Annals of Philosophy*, *by* Thomas Thomson; mai 1819, p. 394 et suiv.)

Nouvelle *Expédition des Anglais vers le pôle nord.*

Deux nouvelles expéditions sont parties, il y a quelque temps, des ports de la Grande-Bretagne; l'une s'est rendue dans la baie de Baffin, et l'autre vers la baie d'Hudson et les rives de l'Océan arctique. La première complétera la reconnaissance commencée, l'an dernier, par le capitaine Ross; la seconde, commandée par le lieutenant Franklin, a dû arriver, vers le milieu d'août, à la factorerie d'York, et se mettre immédiatement en route pour examiner, autant que possible, les limites du continent américain vers le nord-est. Cette dernière expédition se propose, assure-t-on, de remonter la *rivière de la Mine de cuivre* jusqu'à son embouchure dans la mer Glaciale. L'opinion des géographes anglais est maintenant que cette rivière, au lieu de couler droit au nord, comme Hearne l'a annoncé, dirige son cours vers l'est et se jette dans *Repulse-Bay*. Cette erreur de Hearne tient, dit-on, à ce qu'il n'avait pas égard, dans ses relèvemens, à la déclinaison de l'aiguille aimantée. Les nouveaux voyageurs ont été pourvus par le gouvernement anglais de tous les instrumens d'astronomie et de physique dont ils pouvaient avoir besoin.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTRE. maxim.	minim.	ÉTAT DU CIEL à midi.	VENTS.
1	754,60	+14,0	88	754,70	+18,6	61	754,63	+19,7	49	756,00	+14,0	63	+19,8	+13,0	Très-nuageux.	O.
2	756,97	+18,0	57	756,69	+21,2	51	756,21	+21,5	50	756,61	+18,0	70	+21,5	+11,0	Très-nuageux.	O.
3	755,88	+24,0	68	755,36	+25,6	67	754,60	+25,6	60	753,72	+21,6	70	+25,6	+14,7	Nuageux.	S.
4	753,03	+27,6	69	752,77	+30,9	48	753,10	+29,5	56	752,85	+24,1	82	+30,9	+16,7	Nuageux.	S. E. fort
5	754,64	+28,1	63	753,9	+29,2	51	753,60	+29,4	48	755,11	+23,0	77	+31,2	+17,0	Nuageux.	S
6	753,62	+23,0	75	753,40	+28,7	56	753,62	+28,7	47	756,92	+23,1	70	+28,8	+17,5	Très-nuageux.	S.
7	761,08	+20,2	74	761,22	+23,5	64	760,22	+24,0	56	759,25	+20,1	85	+25,1	+16,0	Très-nuageux.	N N. O.
8	757,40	+21,0	71	755,73	+23,5	65	756,87	+18,8	80	760,28	+15,0	86	+23,5	+15,0	Couvert, tonnerre.	S. O. t.-f.
9	763,29	+20,1	60	763,41	+20,1	55	763,85	+19,6	62	764,10	+15,3	83	+20,1	+13,8	Très-nuageux.	O.
10	763,00	+18,2	63	762,44	+20,7	54	761,33	+20,7	52	760,93	+17,0	84	+20,7	+13,5	Nuageux.	O. N. O.
11	760,50	+19,9	69	760,40	+21,1	63	760,54	+18,6	67	761,35	+16,4	83	+21,2	+15,0	Couvert.	O.
12	761,26	+23,2	64	760,68	+23,0	63	760,00	+24,5	59	760,10	+20,5	80	+24,5	+15,0	Nuageux.	O. N. O.
13	760,76	+18,0	66	760,90	+19,5	57	760,43	+20,8	48	760,30	+16,5	63	+20,8	+15,7	Couvert.	N.
14	760,80	+15,7	65	759,72	+17,5	59	758,55	+19,9	50	757,34	+17,0	70	+19,9	+11,5	Nuageux.	N.
15	755,42	+16,5	80	757,81	+19,2	67	753,73	+19,7	63	754,07	+17,0	74	+19,8	+12,2	Couvert.	N.
16	754,83	+15,9	84	754,83	+20,5	66	754,38	+21,1	57	756,23	+15,6	75	+21,1	+14,5	Nuageux.	N.
17	758,37	+18,2	66	755,50	+21,5	53	756,08	+22,7	54	759,10	+17,1	82	+22,7	+11,0	Très-nuageux.	N N. E.
18	759,54	+22,5	60	758,70	+24,9	54	757,60	+25,2	49	756,25	+19,2	69	+25,2	+12,5	Nuageux.	O.
19	750,46	+25,1	51	748,44	+27,2	43	747,73	+28,2	40	745,20	+20,8	78	+28,2	+12,9	Légers nuages.	S.
20	742,18	+21,0	81	740,70	+25,2	63	740,18	+23,0	72	740,45	+16,7	93	+25,2	+15,3	Couvert.	S.
21	741,74	+14,2	99	742,90	+14,2	95	743,96	+13,9	96	747,16	+15,0	100	+15,0	+13,5	Pluie par intervalles.	O. N. O.
22	754,03	+14,7	89	755,78	+17,2	79	756,19	+19,7	59	758,71	+15,7	73	+19,7	+14,0	Couvert.	N.
23	760,47	+17,5	62	762,56	+19,5	48	760,24	+20,4	44	761,24	+17,0	59	+20,4	+11,0	Nuageux.	N. O.
24	762,15	+19,7	67	761,63	+22,7	50	760,62	+22,0	50	760,15	+18,4	70	+22,8	+11,0	Très-nuageux.	N.
25	758,07	+23,5	60	757,17	+25,0	52	756,20	+26,0	46	756,03	+21,1	70	+26,2	+13,7	Nuageux.	N.
26	755,71	+25,0	62	755,44	+26,5	46	754,70	+26,6	42	755,91	+19,2	75	+27,1	+16,4	Nuageux.	N. E
27	757,30	+21,5	75	755,17	+25,0	61	756,51	+18,2	73	753,50	+15,2	92	+25,0	+1?,2	Nuageux	N. N. O
28	759,42	+19,2	85	759,40	+27,9	75	758,57	+24,6	63	759,13	+19,8	64	+25,2	+16,2	Très-nuageux.	N.
29	758,35	+20,2	80	757,40	+24,0	64	756,10	+27,0	43	756,47	+20,0	60	+27,0	+16,5	Nuageux.	N. E.
30	756,10	+22,5	57	755,94	+26,0	37	755,31	+27,0	34	755,20	+21,5	49	+27,0	+15,7	Très-nuageux.	N. E.
31	755,44	+24,5	58	755,30	+29,2	43	755,58	+27,4	42	756,24	+20,2	70	+29,2	+16,6	Quelques nuages.	N. E.
1	757,35	+21,4	68	756,97	+24,2	57	756,80	+23,7	56	757,58	+19,1	77	+24,7	+14,8	Moyennes du 1 au 10.	
2	756,42	+19,5	69	755,75	+22,0	59	755,12	+22,4	56	755,04	+17,7	77	+22,9	+13,6	Moyennes du 11 au 20.	
3	756,25	+20,2	72	756,24	+22,8	59	755,82	+22,9	54	756,79	+18,5	71	+24,1	+14,5	Moyennes du 21 au 31.	
	756,66	+20,4	70	756,32	+23,0	58	755,91	+23,0	55	756,48	+18,4	75	+23,9	+14,3	Moyennes du mois	+19,1.

SUITE

Du Mémoire sur la Diffraction de la lumière.

PAR M. FRESNEL.

LA méthode qui m'avait d'abord paru la plus commode pour déterminer la longueur des ondes était de mesurer la largeur des franges produites par deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre, en mesurant en même temps la distance entre les deux images du point lumineux; mais les moindres courbures dans les miroirs pouvant altérer l'exactitude des résultats, j'ai préféré me servir des franges produites par une ouverture étroite combinée avec le verre à surface cylindrique dont j'ai déjà parlé. Nous avons vu qu'alors l'intervalle entre les milieux de deux bandes obscures consécutives quelconques, à droite ou à gauche du centre de l'ouverture, est égal à $\frac{b\lambda}{c}$, λ représentant toujours la longueur d'ondulation, et c et b la largeur de l'ouverture et sa distance au micromètre; tandis que la distance entre les points les plus sombres des deux bandes du premier ordre est précisément le double de cet intervalle. Avec ces données, il est aisé de déduire la valeur de λ de la mesure des franges.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de cinq observations de ce genre, et les longueurs d'onde qui s'en déduisent. J'y ai introduit les différentes valeurs de a, ou de la distance du point lumineux au diaphragme, quoiqu'elles soient inutiles pour le calcul, afin de présenter toutes les circonstances de l'expérience. Ces me-

sures ont été prises dans une lumière rouge sensiblement homogène, obtenue au moyen du verre coloré dont j'ai déjà parlé, et dont je me suis servi dans toutes mes observations, afin qu'elles fussent parfaitement comparables. Chacune de ces mesures a été prise au moins quatre fois, et ce sont les moyennes que j'ai portées dans ce tableau.

DISTANCES du point lumineux au diaphragme ou valeurs de a.	DISTANCES du diaphragme au micromètre ou valeurs de b.	LARGEURS de l'ouverture.	NOMBRES des intervalles $\frac{b \cdot \lambda}{c}$ compris dans chaque mesure.	MOYENNES des mesures micrométriq.	LONGUEURS d'ondes déduites de ces mesures.
$2^{m},507$	$1^{m},140$	$2^{mm},00$	6	$2^{mm},185$	$0^{mm},000639$
2,010	1,302	4,00	10	2,075	0,000637
2,010	1,302	3,00	8	2,222	0,000640
1,304	2,046	3,00	8	3,466	0,000635
1,304	2,046	2,00	6	3,922	0,000639
Somme des cinq résultats. . .					0,003190.
Cinquième de la somme, ou moyenne. . .					0,000638.

On voit que ces résultats s'accordent assez bien entre eux, puisque les moins concordans ne diffèrent pas d'un centième. Leur moyenne $0^{mm},000638$ est la longueur d'onde que j'ai adoptée, et dont je me suis servi dans tous mes calculs pour comparer la théorie à l'expérience.

Après l'avoir vérifiée sur les franges produites par deux miroirs, qui présentent le cas le plus simple des interférences, j'ai appliqué cette même longueur d'ondu-

lation au calcul des franges extérieures des ombres au moyen de la formule

$$x = n\sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}},$$

dans laquelle j'ai substitué à la place de n les différentes valeurs tirées du tableau des *maxima* et *minima*.

Le tableau suivant présente les résultats du calcul comparés à ceux de l'observation. J'ai déterminé seulement la position des *minima* dans mes expériences (ce qui est suffisant pour la vérification de la théorie), parce que mon œil assignait mieux en général le point le plus sombre d'une bande obscure que le point le plus éclairé d'une bande brillante.

Tableau comparatif des résultats de l'observation et de ceux de la théorie sur les franges extérieures des ombres dans une lumière rouge homogène, pour laquelle la longueur d'ondulation est égale à $0^{mm},000638$.

Numéros des observatio	Distances du point lumineux au corps opaque, ou valeurs de *a*.	Distances du corps opaque au micromètre, ou valeurs de *b*.	Ordres des bandes obscures.	Distances du point le plus obscur de chaque bande au bord de l'ombre géométrique.		Différences.
				Observation.	Calcul.	
				mm	mm	mm
			1	2,84	2,83	—0,01
			2	4,14	4,14	0
1	$0^{m},1000$	$0^{m},7985$	3	5,14	5,13	—1
			4	5,96	5,96	0
			5	6,68	6,68	0

NUMÉROS des observations.	DISTANCES du point lumineux au corps opaque, ou valeurs de *a*.	DISTANCES du corps opaque au micromètre, ou valeurs de *b*.	ORDRES des bandes obscures.	DISTANCES du point le plus obscur de chaque bande au bord de l'ombre géométrique. Observation.	Calcul.	Différences.
				mm	mm	mm
			1	1,73	1,73	0
			2	2,54	2,53	— 1
2	0^m,1985	0^m,637	3	3,14	3,14	0
			4	3,65	3,64	— 1
			5	4,06	4,08	+ 2
			1	1,72	1,73	+ 1
			2	2,50	2,53	+ 3
3	0^m,202	0^m,640	3	3,13	3,13	0
			4	3,62	3,63	+ 1
			5	4,07	4,07	0
			1	0,39	0,39	0
			2	0,58	0,57	— 1
4	0^m,510	0^m,110	3	0,71	0,70	— 1
			4	0,82	0,81	— 1
			5	0,91	0,91	0
			1	1,05	1,05	0
			2	1,54	1,54	0
5	0^m,510	0^m,501	3	1,90	1,91	+ 1
			4	2,21	2,22	+ 1
			5	2,49	2,49	0
			1	1,82	1,83	+ 1
			2	2,66	2,67	+ 1
6	0^m,510	1^m,005	3	3,30	3,31	+ 1
			4	3,84	3,84	0
			5	4,31	4,31	0
			1	0,38	0,38	0
			2	0,57	0,56	— 1
7	1^m,011	0^m,116	3	0,69	0,69	0
			4	0,80	0,80	0
			5	0,90	0,90	0

NUMÉROS des observations.	DISTANCES du point lumineux au corps opaque, ou valeurs de *a*.	DISTANCES du corps opaque au micrometre, ou valeurs de *b*.	ORDRES des bandes obscures.	DISTANCES du point le plus obscur de chaque bande au bord de l'ombre géométrique. Observation.	Calcul.	Différences.
				mm	mm	mm
8	$1^m,011$	$0^m,502$	1	0,92	0,92	0
			2	1,35	1,34	— 1
			3	1,68	1,66	— 2
			4	1,93	1,93	0
			5	2,15	2,16	+ 1
9	$1^m,011$	$0^m,996$	1	1,49	1,49	0
			2	2,18	2,18	0
			3	2,70	2,69	— 1
			4	3,12	3,13	+ 1
			5	3,51	3,51	0
10	$1^m,011$	$2^m,010$	1	2,59	2,59	0
			2	3,79	3,79	0
			3	4,68	4,69	+ 1
			4	5,45	5,45	0
			5	6,10	6,11	+ 1
11	$2^m,008$	$0^m,118$	1	0,37	0,37	0
			2	0,55	0,55	0
			3	0,68	0,68	0
			4	0,78	0,79	+ 1
			5	0,87	0,88	+ 1
12	$2^m,008$	$0^m,999$	1	1,30	1,29	— 1
			2	1,89	1,89	0
			3	2,34	2,34	0
			4	2,71	2,72	+ 1
			5	3,03	3,05	+ 2
13	$2^m,008$	$2^m,998$	1	2,89	2,89	0
			2	4,23	4,23	0
			3	5,22	5,24	+ 2
			4	6,08	6,08	0
			5	6,80	6,82	+ 2

Numéros des observations.	Distances du point lumineux au corps opaque, ou valeurs de a.	Distances du corps opaque au micromètre, ou valeurs de b.	Ordres des bandes obscures.	Distances du point le plus obscur de chaque bande au bord de l'ombre géométrique. Observation.	Calcul.	Différences.
				mm	mm	mm
14	3^m,018	0^m,0017	1	0,04	0,04	0
			2	0,06	0,06	0
			3	0,08	0,08	0
15	3^m,018	0^m,253	1	0,54	0,55	+ 1
			2	0,80	0,81	+ 1
			3	1,00	1,00	0
			4	1,16	1,16	0
			5	1,31	1,31	0
16	3^m,018	0^m,500	1	0,81	0,81	0
			2	1,17	1,18	+ 1
			3	1,45	1,46	+ 1
			4	1,69	1,70	+ 1
			5	1,89	1,90	+ 1
17	3^m,018	1^m,003	1	1,21	1,22	+ 1
			2	1,78	1,79	+ 1
			3	2,20	2,21	+ 1
			4	2,56	2,57	+ 1
			5	2,87	2,88	+ 1
18	3^m,018	1^m,998	1	1,92	1,93	+ 1
			2	2,83	2,82	— 1
			3	3,49	3,49	0
			4	4,04	4,05	+ 1
			5	4,54	4,55	+ 1
19	3^m,018	3^m,002	1	2,58	2,59	+ 1
			2	3,78	3,79	+ 1
			3	4,68	4,69	+ 1
			4	5,44	5,44	0
			5	6,09	6,10	+ 1

NUMÉROS des observations.	DISTANCES du point lumineux au corps opaque, ou valeurs de *a*.	DISTANCES du corps opaque au micromètre, ou valeurs de *b*.	ORDRES des bandes obscures.	DISTANCES du point le plus obscur de chaque bande au bord de l'ombre géométrique. Observation.	Calcul.	Différences.
				mm	mm	mm
20	3m,018	3m,995	1	3,19	3,22	+ 3
			2	4,70	4,71	+ 1
			3	5,83	5,84	+ 1
			4	6,73	6,78	+ 5
			5	7,58	7,60	+ 2
21	4m,507	0m,131	1	0,38	0,39	+ 1
			2	0,56	0,57	+ 1
			3	0,70	0,70	0
			4	0,81	0,82	+ 1
			5	0,92	0,92	0
22	4m,507	1m,018	1	1,18	1,18	0
			2	1,73	1,73	0
			3	2,13	2,14	+ 1
			4	2,49	2,48	— 1
			5	2,80	2,79	— 1
23	4m,507	2m,506	1	2,11	2,09	— 2
			2	3,07	3,05	— 2
			3	3,78	3,78	0
			4	4,39	4,39	0
			5	4,90	4,93	+ 3
24	6m,007	0m,117	1	0,36	0,37	+ 1
			2	0,53	0,53	0
			3	0,66	0,66	0
			4	0,77	0,77	0
			5	0,85	0,86	+ 1
25	6m,007	0m,999	1	1,13	1,14	+ 1
			2	1,67	1,67	0
			3	2,06	2,07	+ 1
			4	2,40	2,40	0
			5	2,69	2,69	0

On ne pouvait pas s'attendre à un accord plus frappant entre l'expérience et la théorie. Si l'on compare la petitesse des différences à l'étendue des largeurs mesurées, et si l'on fait attention aux grandes variations que *a* et *b* ont éprouvées dans ces observations diverses, on se refusera difficilement à regarder l'intégrale qui nous a conduit à ces résultats comme l'expression fidèle de la loi des phénomènes. Mais ce qui augmente encore beaucoup les probabilités en faveur de la nouvelle théorie, c'est que la longueur d'ondulation employée dans ces calculs a été déduite de phénomènes très-différens, et dont la loi se laissait apercevoir aisément.

Si l'on substituait cette longueur d'ondulation dans les formules auxquelles nous avions été conduits par la première hypothèse, on trouverait des résultats qui différeraient sensiblement de ceux de l'expérience. Je ne présente ici qu'une application de ces formules, qui me paraît suffisante pour faire voir qu'elles ne s'accordent pas aussi bien que les mesures. J'ai choisi l'observation n° 23, qui est une des plus favorables à la 1re théorie.

NUMÉRO de l'observation.	DISTANCE du point lumineux au corps opaque, ou valeur de *a*.	DISTANCE du corps opaque au micromètre, ou valeur de *b*.	ORDRE des bandes obscures.	DISTANCES du point le plus obscur de chaque bande au bord de l'ombre géométrique.		Différences.
				Observation.	Calcul.	
				mm	mm	mm
			1	2,11	2,23	+ 0,12
			2	3,07	3,15	+ 0,08
23	4^m,507	2^m,506	3	3,78	3,86	+ 0,08
			4	4,39	4,46	+ 0,07
			5	4,90	4,99	+ 0,09

On ne pourrait pas expliquer ces discordances en supposant que la longueur d'ondulation employée $0^{mm}000638$ st trop faible; car si on l'augmente de façon à faire oncorder le calcul avec la théorie pour la bande obscure u 1er ordre, elle sera évidemment trop forte pour celle u 4e. En effet, il résulte de ces formules que la disance du bord de l'ombre géométrique à la bande du e ordre doit être le double de la distance du même oint à la bande du 1er ordre : or, en doublant $2^{mm},11$, n trouve $4^{mm},22$ au lieu de $4^{mm},39$, que donne l'obervation. Par conséquent, en partant de la plus grande uantité pour calculer la plus petite, d'après la distance bservée pour la bande du 4e ordre, celle de la bande u 1er ordre devrait être $2^{mm},19$, au lieu de $2^{mm},11$, t la différence est de $0^{mm},08$. En faisant des calculs emblables sur toutes les observations comprises dans tableau ci-dessus, on trouve :

NUMÉROS des Observations.	DISTANCE du bord de l'ombre géométrique au point le plus obscur de la bande du premier ordre, d'après l'observation.	MOITIÉ de la distance du bord de l'ombre géométrique au point le plus obscur de la bande du quatrième ordre.	Différences.
1	$2^{mm},84$	$2^{mm},98$	$+0^{mm},14$
2	1,73	1,82	+ 0,09
3	1,72	1,81	+ 0,09
4	0,39	0,41	+ 0,02
5	1,05	1,10	+ 0,05
6	1,82	1,92	+ 0,10
7	0,38	0,40	+ 0,02
8	0,92	0,96	+ 0,04
9	1,49	1,56	+ 0,07
10	2,59	2,72	+ 0,13
11	0,37	0,39	+ 0,02
12	1,30	1,35	+ 0,05

NUMÉROS des Observations.	DISTANCE du bord de l'ombre géométrique au point le plus obscur de la bande du premier ordre, d'après l'observation.	MOITIÉ de la distance du bord de l'ombre géométrique au point le plus obscur de la bande du quatrième ordre.	Différences.
13	2^{mm},89	3^{mm},04	$+0^{mm}$,15
14	"	"	"
15	0,54	0,58	+ 0,04
16	0,81	0,84	+ 0,03
17	1,21	1,28	+ 0,07
18	1,92	2,02	+ 0,10
19	2,58	2,72	+ 0,14
20	3,19	3,36	+ 0,17
21	0,38	0,40	+ 0,02
22	1,18	1,24	+ 0,06
23	2,11	2,19	+ 0,08
24	0,36	0,38	+ 0,02
25	1,13	1,20	+ 0,07

On voit que toutes les observations s'accordent à donner pour le *minimum* du 1[er] ordre une distance plus petite que la moitié de celle du *minimum* du 4[e] ordre, et que les différences entre les résultats de l'observation et du calcul dans ce dernier tableau sont bien plus sensibles que dans le précédent. Ainsi, indépendamment des considérations théoriques et des expériences qui m'ont servi à déterminer la longueur d'ondulation, il est évident que les rapports de largeur des franges sont plus fidèlement représentés par les distances répondant aux *minima* de l'intégrale déduite du principe d'Huyghens, que par les formules calculées d'après la première hypothèse.

Pour reconnaître ainsi laquelle des deux théories conduisait aux résultats les plus exacts, malgré la petitesse

de leurs différences, il fallait pousser la précision des mesures presque aussi loin que le comporte ce genre d'observations; car, en raison du vague des franges, cette limite est assez rapprochée. Je crois devoir donner ici quelques détails sur le procédé que j'ai suivi et les précautions que j'ai prises dans ces expériences.

Au lieu d'un fil de soie, j'ai fixé devant la lentille du micromètre un verre sur lequel était gravé un trait fin, qui ne se prolongeait pas dans toute l'étendue du champ de la lentille, mais s'arrêtait au milieu, de sorte que je pouvais voir au-delà de l'extrémité du trait le prolongement de la bande obscure devant laquelle je l'avais amené; ce qui est plus commode pour bien juger s'il est vis-à-vis l'endroit le plus sombre, surtout lorsque les franges ont peu de largeur. Pour déterminer la position du bord de l'ombre géométrique par rapport aux bandes obscures, au lieu d'un corps opaque d'une largeur connue, je me suis servi de deux plaques d'acier, que je pouvais écarter ou rapprocher à volonté l'une de l'autre, et dont j'évaluais l'intervalle à moins d'un centième de millimètre près, à l'aide d'un vernier fixé au coursier de ce petit instrument. Ces deux plaques étaient terminées par un double biseau légèrement arrondi. Je mesurais avec le micromètre les distances entre les bandes obscures produites par les bords des deux plaques, et connaissant d'ailleurs l'intervalle qui séparait ces deux bords, ainsi que leur distance au point lumineux et au micromètre, je trouvais, par un calcul très-simple, la largeur comprise entre les limites des ombres géométriques des deux écrans. Il suffisait alors d'en retrancher l'intervalle entre deux bandes correspondantes et de pren-

dre la moitié du reste pour avoir la distance d'une de ces bandes au bord de l'ombre géométrique la plus voisine. Chaque mesure a été prise au moins deux fois.

J'avais soin que les plaques fussent séparées par un intervalle assez grand pour que l'une n'eût aucune influence sur les franges produites par l'autre. Dans presque toutes mes observations, cet intervalle était d'un centimètre.

Je me servais pour former le point lumineux de lentilles d'autant plus convexes, que le corps opaque en était plus rapproché. Dans les expériences 1, 2 et 3, la lentille que j'ai employée n'avait qu'un demi-millimètre de foyer, afin que les franges fussent moins vagues en raison de la finesse du point lumineux, et surtout afin de pouvoir mesurer avec une exactitude suffisante sa distance au corps opaque; ce qui est plus facile quand le foyer de la lentille est plus court. Pour que la petite image du soleil qui formait le point lumineux au foyer de la lentille ne changeât pas de position par l'effet du mouvement diurne pendant la mesure des franges, les rayons solaires étaient réfléchis dans une direction constante par le miroir d'un héliostat que M. Berthollet avait eu la bonté de me prêter, et qui m'a été du plus grand secours dans mes expériences. C'est un instrument presque indispensable pour ce genre d'observations.

Nous venons de voir qu'on pouvait expliquer d'une manière satisfaisante la formation et la position des franges extérieures, en les considérant comme produites par le concours d'une infinité d'ondes élémentaires qui émanent de

l'onde interceptée en partie par le corps opaque. Il résulte de la même théorie que la lumière infléchie dans l'ombre ne doit produire aucunes bandes obscures et brillantes, mais diminuer continuellement d'intensité lorsque l'écran est assez étendu pour qu'il ne vienne point de lumière sensible de l'autre côté, quoique cette lumière infléchie résulte du concours d'une infinité d'ondes élémentaire, comme celles qui donnent naissance aux franges extérieures; c'est ce que l'on reconnaît à l'inspection du tableau ci-dessous, qui représente l'intensité de la lumière répandue dans l'ombre pour différentes inclinaisons des rayons infléchis. Ces intensités ont été calculées au moyen de la table des valeurs numériques des intégrales

$$\int dv \cos qv^2 \text{ et } \int dv \sin qv^2$$

en faisant la somme des carrés des nombres correspondans diminués de $\frac{1}{2}$. Malgré les inexactitudes qui proviennent de ce que les limites des intégrations partielles n'avaient pas été assez rapprochées dans la première table, on voit que l'intensité de la lumière s'affaiblit rapidement à mesure que v augmente, sans qu'il se présente aucun de ces *maxima* ou *minima* que nous avons observés à l'extérieur de l'ombre.

Intensités de la lumière infléchie dans l'ombre sous différentes obliquités.

VALEURS de *v*.	INTENSITÉS correspondantes.	VALEURS de *v*.	INTENSITÉS correspondantes.
$0^q,10$	0,4095	$2^q,90$	0,0121
0,20	0,3359	3,00	0,0113
0,30	0,2765	3,10	0,0105
0,40	0,2284	3,20	0,0098
0,50	0,1898	3,30	0,0092
0,60	0,1586	3,40	0,0087
0,70	0,1334	3,50	0,0083
0,80	0,1129	3,60	0,0079
0,90	0,0962	3,70	0,0074
1,00	0,0825	3,80	0,0069
1,10	0,0711	3,90	0,0066
1,20	0,0618	4,00	0,0064
1,30	0,0540	4,10	0,0061
1,40	0,0474	4,20	0,0057
1,50	0,0418	4,30	0,0054
1,60	0,0372	4,40	0,0052
1,70	0,0332	4,50	0,0051
1,80	0,0299	4,60	0,0048
1,90	0,0271	4,70	0,0045
2,00	0,0247	4,80	0,0044
2,10	0,0226	4,90	0,0043
2,20	0,0207	5,00	0,0041
2,30	0,0189	5,10	0,0038
2,40	0,0173	5,20	0,0037
2,50	0,0159	5,30	0,0036
2,60	0,0147	5,40	0,0035
2,70	0,0137	5,50	0,0033
2,80	0,0129		

a et b représentant toujours les distances de l'écran au point lumineux et au plan sur lequel on reçoit son ombre, et x la distance du bord de l'ombre géométrique au point que l'on considère dans ce plan, on a :

$$x = \nu \sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}};$$

et par conséquent :

$$\frac{x}{b} = \nu \sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)\lambda}{ab}}.$$

A l'aide de ces formules, on peut calculer les valeurs de la distance x ou de l'inclinaison $\frac{x}{b}$ du rayon infléchi qui correspond aux différentes valeurs de ν; et réciproquement, étant donné x ou l'obliquité $\frac{x}{b}$, on peut en déduire ν, et déterminer l'intensité de la lumière infléchie. Une conséquence remarquable de la formule

$$x = \nu \sqrt{\frac{\frac{1}{2}(a+b)b\lambda}{a}},$$

c'est que les valeurs de x ne sont pas proportionnelles aux valeurs de b, mais aux ordonnées d'une hyperbole dont celles-ci seraient les abscisses. Ainsi il résulte de cette théorie que les points de même intensité par rapport au bord de l'ombre géométrique ne suivent pas une ligne droite quand on fait varier b, mais une hyperbole qui a une courbure sensible, comme les trajectoires des franges extérieures.

Je n'ai pas encore vérifié par des expériences directes les rapports d'intensité de la lumière infléchie que j'ai déduits de la théorie des interférences appliquée au prin-

cipe d'Huyghens. Ce genre d'observations présente de grandes difficultés (1), et j'ai peine à croire qu'on puisse y porter autant d'exactitude que dans la détermination des point les plus sombres et les plus brillans des franges, dont les résultats me paraissent aussi des vérifications (à la vérité indirectes) de ces mêmes rapports d'intensité; car la position des *maxima* et *minima* étant déduite de l'expression générale de l'intensité de la lumière, si l'ex-

---

(1) Il est très-difficile de mesurer avec précision l'intensité de la lumière, même dans les circonstances les plus favorables, lorsque les espaces éclairés qu'il s'agit de comparer sont suffisamment étendus et présentent chacun une lumière uniforme, à plus forte raison lorsque ces espaces varient de clarté d'un point à un autre, et ne peuvent être considérés comme ayant une intensité uniforme que dans un intervalle extrêmement étroit, ou, pour ainsi dire, une seule ligne lumineuse. Je crois cependant qu'on pourrait parvenir à vérifier les formules d'intensité de lumière dans les phénomènes de diffraction, d'une manière suffisante, quoique toujours indirecte, à l'aide d'un procédé très-simple auquel j'ai songé depuis que mon Mémoire a été déposé à l'Institut : ce serait de superposer, à l'aide de la double réfraction, des franges différentes les unes sur les autres, celles de l'intérieur d'une ombre étroite, par exemple, sur celles de l'extérieur, et d'observer la position des nouveaux *maxima* et *minima* résultant de ce mélange. Si, comme j'en suis persuadé, les formules appliquées à ces superpositions de franges diverses s'accordaient encore avec l'observation sur la position des nouveaux *maxima* et *minima*, on ne pourrait plus douter qu'elles ne représentent effectivement les intensités relatives des différens points des franges.

périence s'accorde à cet égard avec le calcul, toutes les fois du moins que les observations peuvent être faites avec précision, il devient bien probable que cette intégrale représente réellement toutes les variations d'intensité de la lumière infléchie.

A l'aide du tableau des *maxima* et *minima* des franges extérieures, on peut calculer aisément, comme nous l'avons vu, les positions des points les plus sombres et les plus éclairés de leurs bandes obscures et brillantes pour toutes les valeurs de a et de b. Il n'en est pas de même à l'égard des franges intérieures de l'ombre d'un corps étroit ou de celles qui sont produites par une petite ouverture. Les deux limites de l'intégrale variant à-la-fois, il n'est plus possible de présenter des résultats généraux applicables à tous les cas; et l'on est obligé de déterminer les *maxima* et les *minima* dans chaque cas particulier, à l'aide de la table, qui donne les valeurs numériques de

$$\int dv \cos qv^2 \text{ et } \int dv \sin qv^2.$$

Je vais présenter le résultat de tous les calculs de cette espèce que j'ai faits jusqu'à présent pour la vérification de la théorie. Comme ils sont très-longs (1), je n'ai pas pu les multiplier autant que je l'aurais desiré; mais j'ai tâché de compenser ce défaut par la variété des cas auxquels je les ai appliqués, et en vérifiant la théorie de préférence

(1) Il est très-possible qu'il y ait des procédés plus courts que mon peu d'usage de l'analyse m'aura empêché d'apercevoir.

sur les observations qui m'avaient présenté les dispositions de franges les plus extraordinaires.

Je vais d'abord m'occuper des franges produites par une petite ouverture, qui tiennent à-la-fois des franges extérieures et de celles qu'on observe dans l'ombre d'un corps étroit.

Soit C (fig. 7) le point lumineux, AG une ouverture étroite dont les bords A et G sont rectilignes et parallèles, BD sa projection conique sur le plan où l'on observe les franges, et P un point pris dans ce plan, dont on veut connaître l'intensité. Pour cela, il faut intégrer :

$$\int dz.\cos\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right) \text{ et } \int dz.\sin\left(2q.\frac{z^2(a+b)}{ab\lambda}\right)$$

entre les limites A et G, et faire la somme des carrés de ces intégrales : ce sera l'intensité de la lumière en P; mais il faut se rappeler que l'origine des z est sur le rayon direct CP, et qu'en conséquence les deux limites A et G répondent à $z=MG$ et $z=-AM$. Après avoir calculé les valeurs correspondantes de v avec la formule

$$v=z\sqrt{\frac{2(a+b)}{ab\lambda}} \quad \text{ou} \quad v=x\sqrt{\frac{2a}{(a+b)b\lambda}},$$

dans laquelle x représente la distance du point P au bord de l'ombre géométrique, on cherchera dans la table des intégrales

$$\int dv.\cos qv^2 \text{ et } \int dv.\sin qv^2,$$

les nombres qui approchent le plus de ces valeurs de v.

Je suppose que t soit la différence entre la valeur calculée et le nombre i de la table, on trouvera les intégrales correspondantes au moyen des formules approximatives,

$$\int d\nu . \cos q\nu^2 \left(\begin{matrix}\nu=0\\ \nu=i+t\end{matrix}\right) = \int d\nu . \cos q\nu^2 \left(\begin{matrix}\nu=0\\ \nu=i\end{matrix}\right)$$

$$+ \frac{1}{2iq}\left(\sin qi\,(i+2t) - \sin qi^2\right),$$

$$\int d\nu . \sin q\nu^2 \left(\begin{matrix}\nu=0\\ \nu=i+t\end{matrix}\right) = \int d\nu . \sin q\nu^2 \left(\begin{matrix}\nu=0\\ \nu=i\end{matrix}\right)$$

$$+ \frac{1}{2iq}\left(-\cos qi\,(i+2t) + \cos qi^2\right).$$

Après avoir fait le même calcul pour les deux valeurs de ν qui répondent aux limites A et G de l'ouverture, on ajoutera ensemble les intégrales homologues si le point M est en dedans; on les retranchera, au contraire, l'une de l'autre s'il est en dehors; et l'on fera enfin la somme des carrés des deux nombres trouvés. On aura de même les intensités de lumière pour tous les autres points dont la position sera donnée, et en comparant ces différes résultats, on reconnaîtra entre lesquels sont placés les *maxima* et les *minima*. Etant données les intensités lumineuses de trois points entre lesquels se trouve un *maximum* ou un *minimum*, on peut aisément déterminer sa position avec une exactitude suffisante par la méthode des interpolations si ces points sont assez rapprochés, en supposant que, dans ce petit espace, la courbe qui aurait pour ordonnées les intensités de ces points, et pour abscisses leurs distances à une origine commune, coïncide sensiblement avec une courbe du

second degré. Cette hypothèse conduit à la formule:

$$z = \frac{p' z''^2 - p'' z'^2}{2(p' z'' - p'' z')},$$

dans laquelle z' et z'' représentent les distances d'un des points extrêmes aux deux autres, p' et p'' les différences de leurs intensités, et enfin z la distance du même point au *maximum* ou au *minimum*. J'ai essayé cette formule sur les *maxima* et les *minima* des franges extérieures, déjà calculés par un autre procédé, et sans employer des nombres plus rapprochés que ceux de la table, j'ai obtenu des résultats d'une exactitude suffisante, même pour le *minimum* du 7ᵉ ordre, quoique la différence de deux valeurs consécutives de ν dans la table soit une partie considérable de l'intervalle qui sépare le *minimum* et le *maximum* du 7ᵉ ordre.

Pour appliquer cette méthode de calcul aux observations, j'ai d'abord déterminé la valeur tabulaire de c, c'est-à-dire, de la largeur de l'ouverture, au moyen de la formule

$$\nu = c . \sqrt{\frac{2(a+b)}{ab\lambda}},$$

qui m'a donné ainsi l'intervalle tabulaire des deux limites. Par des tâtonnemens faciles, j'ai cherché entre quels nombres de la table se trouvaient les *maxima* ou les *minima*; j'ai ensuite déterminé leur position d'une manière plus exacte par le procédé que je viens d'indiquer. Ayant ainsi calculé les valeurs de ν répondant aux *maxima* ou aux *minima*, je les ai retranchées de la moitié de la valeur tabulaire de c, pour les rapporter au milieu de l'ouverture. Enfin, la formule

$$x = v\sqrt{\frac{(a+b)b\lambda}{2a}}$$

m'a donné la distance des mêmes *minima* ou *maxima* au milieu de la projection lumineuse de l'ouverture, origine que j'avais adoptée dans mes observations.

Tableau comparatif des résultats de la théorie et de l'expérience sur la position des maxima *et des* minima *dans les franges produites par une ouverture étroite.*

NUMÉROS des bandes brillantes et obscures comptés à partir du centre.	VALEURS approchées de v comptées du bord de l'ouverture.	INTENSITÉS correspondantes.	VALEURS de v répondant aux *maxima* ou *minima*, comptées du bord de l'ouverture.	DISTANCES des *maxima* ou *minima* à la projection du milieu de l'ouverture. Calcul.	Observat.	Différences.
1re *Observation.* $a=2^{m},010$; $b=0^{m},617$; $c=0^{mm},50$; valeur tabulaire de $c=1,288$.						
				mm	mm	mm
1. minim.	+0,812	0,03495	+0,913	0,79	0,77	+0,02
	+0,912	0,01645				
	+1,012	0,03406				
2. minim.	+2,412	0,00238	+2,463	1,58	1,58	0,00
	+2,512	0,00235				
	+2,612	0,00541				
2e *Observation.* $a=2^{m},010$; $b=1^{m},503$; $c=1^{mm},00$; valeur tabulaire de $c=1,910$.						
				mm	mm	mm
1. min.	0	0,2978	+0,106	0,97	0,86	+0,11
	+0,100	0,2765				
	+0,200	0,2933				
2. min.	+1,000	0,04451	+1,142	1,92	1,88	+0,04
	+1,100	0,02608				
	+1,200	0,02771				

NUMÉROS des bandes brillantes et obscures comptés à partir du centre.	VALEURS approchées de *v* comptées du bord de l'ouverture.	INTENSITÉS correspondantes.	VALEURS de *v* répondant aux *maxima* ou *minima*, comptées du bord de l'ouverture.	DISTANCES des *maxima* ou *minima* à la projection du milieu de l'ouverture. Calcul.	Observat.	Différences
3e *Observation.* $a = 2^{m},010$; $b = 0^{m},401$; $c = 1^{mm},00$; valeur tabulaire de $c = 3,062$.						
	−1,262	2,2578		mm	mm	mm
1. min.	−1,162	2,2153	−1,181	0,14	0,16	−0,02
	−1,100	2,2577				
	−0,300	0,7135				
2. min.	−0,262	0,6925	−0,215	0,51	0,48	+ 3
	−0,162	0,6950				
	+0,400	0,1501				
3. min.	+0,438	0,1477	+0,431	0,77	0,76	+ 1
	+0,500	0,1604				
	+0,938	0,0799				
4. min.	+1,038	0,0417	+1,084	1,02	1,01	+ 1
	+1,138	0,0432				
	+1,800	0,017[illegible]				
5. min.	+1,738	0,0128	+1,736	1,28	1,28	0
	+1,700	0,0141				
4e *Observation.* $a = 3^{m},008$; $b = 1^{m},236$; $c = 2^{mm},00$; valeur tabulaire de $c = 3,783$.						
	−1,983	1,2813				
1. min.	−1,892	1,1753	−1,892	0	0	0
	−1,800	1,2813				
	−1,013	2,2164		mm	mm	mm
2. min.	−1,000	2,2139	−0,998	0,67	0,63	+0,04
	−0,980	2,2172				
	−0,323	0,8465				
3. min.	−0,303	0,8451	−0,303	1,18	1,11	+ 7
	−0,283	0,8465				
	+0,117	0,3183				
4. min.	+0,217	0,2516	+0,239	1,59	1,53	+ 6
	+0,317	0,2770				

NUMÉROS des bandes brillantes et obscures comptés à partir du centre.	VALEURS approchées de v comptées du bord de l'ouverture.	INTENSITÉS correspondantes.	VALEURS de v répondant aux *maxima* ou *minima*, comptées du bord de l'ouverture.	DISTANCES des *maxima* ou *minima* à la projection du milieu de l'ouverture. Calcul.	Observat.	Différences.
5. min.	+0,617 +0,717 +0,817	0,1422 0,0838 0,0909	+0,739	mm 1,96	mm 1,96	0
		5e *Observation.*				
		$a = 2^{m},010$; $b = 0^{m},492$; $c = 1^{mm},50$; valeur tabulaire de $c = 4,224$.				
1er max.	—1,300 —1,200 —1,100	2,7239 3,0466 2,9780	—1,168	mm 0,42	mm 0,43	mm —0,01
		6e *Observation.*				
		$a = 2^{m},010$; $b = 0^{m},276$; $c = 1^{mm},50$; valeur tabulaire de $c = 5,391$.				
1. min.	—2,791 —2,695 —2,600	1,6110 1,4474 1,6110	—2,695	0	0	0
2. min.	—2,091 —1,991 —1,891	1,7500 1,4408 1,4770	—1,951	mm 0,24	mm 0,24	0

On voit que les mesures et la théorie s'accordent, en général, assez bien, excepté dans la 2e et la 4e observation, où les différences sont très-sensibles, et beaucoup plus que ne le comporte la largeur des franges ; car, dans la seconde observation, les mesures partielles ne différaient au plus que de $0^{mm},04$, et la 4e observation, que j'ai déjà rapportée, s'accordait parfaitement, comme on

l'a vu, avec une autre expérience qui devait présenter les mêmes franges. Ainsi, l'on ne peut expliquer ces différences qu'en supposant que la théorie est inexacte, ou qu'une illusion d'optique occasionne ici des erreurs constantes dans les observations.

La théorie repose sur une hypothèse si simple et si probable en elle-même, et elle se trouve d'ailleurs déjà vérifiée d'une manière si frappante par des expériences variées et nombreuses, qu'on ne peut guère douter de l'exactitude du principe fondamental. Il est très-vraisemblable que cette anomalie n'est qu'apparente, et qu'elle tient à un faux jugement de l'œil sur la position des *minima* dont il s'agit. Il est à remarquer d'abord qu'ils étaient peu prononcés, et se trouvaient compris chacun entre deux bandes brillantes, d'intensités très-différentes : or, pour juger de la position du *minimum*, mon œil embrassant une partie de ces deux bandes, la moitié de la bande obscure, située du côté de la plus brillante, devait me paraître plus sombre par l'effet de son voisinage, ce qui en rapprochait le *minimum* apparent ; et c'est effectivement dans ce sens que se trouvent toutes les différences. Ce qui prouve bien que l'œil embrasse une étendue assez considérable des franges pour juger de la position des *minima* ou des *maxima*, c'est qu'ayant essayé, en répétant la 4e observation, de détruire l'illusion dont je viens de parler au moyen d'un diaphragme d'une ouverture très-étroite, qui ne laissait voir que la bande obscure, je n'apercevais plus de différence bien sensible dans son intensité, et je ne pouvais plus en assigner le *minimum*.

Si j'ai déterminé avec assez d'exactitude les *minima*

des franges extérieures, même dans des bandes très-vagues, c'est sans doute parce que les bandes brillantes entre lesquelles elles sont comprises diffèrent peu d'intensité; et si les résultats de l'expérience se sont encore très-bien accordés avec ceux de la théorie pour les franges produites par une ouverture étroite combinée avec un verre cylindrique, malgré les grandes différences d'intensité entre deux bandes brillantes consécutives, surtout celles du premier et du second ordre, c'est que la bande obscure qui les sépare est d'un noir presque complet à son *minimum*. En général, toutes les fois que le *minimum* ou le *maximum* étaient très-prononcés, j'ai trouvé que l'expérience s'accordait parfaitement avec le calcul. Dans la cinquième observation, par exemple, j'ai mesuré la distance du centre au *maximum* du premier ordre, parce que cette bande brillante était très-fine, et que je pouvais en déterminer le point le plus éclairé avec beaucoup de précision. Or, on voit que la différence entre le calcul et la mesure n'est ici que d'un centième de millimètre.

La théorie représente avec fidélité non-seulement la position des *maxima* et des *minima*, mais encore toutes les apparences des phénomènes, autant qu'on en peut juger du moins, sans déterminer par des mesures précises les variations d'intensité de la lumière. Ainsi, par exemple, dans la cinquième observation, la partie correspondant au centre de l'ouverture était occupée par une large bande obscure d'une teinte qui me paraissait sensiblement uniforme jusqu'à deux limites distantes du centre d'environ $0^{mm},26$, après lesquelles l'intensité de la lumière augmentait brusquement pour former la bande

brillante du 1er ordre, dont je viens de parler. Or, en calculant l'intensité de la lumière entre ces limites, on trouve qu'effectivement elle varie fort peu, et que son accroissement est, au contraire, très-rapide dans le passage de ces limites à la bande brillante. Voici les résultats du calcul pour différens points de la bande obscure et des deux bandes brillantes entre lesquelles elle est comprise. La position de chaque point est désignée ici par la valeur correspondante de ν, comptée toujours à partir d'un des bords de l'ouverture.

	Numéros.	Valeurs de ν.	Intensités.
	1	1,100	2,9780
	2	1,200	3,0466
	3	1,300	2,7239
Limite de la teinte plate d'après l'observation.	4	1,400	2,2843
	5	1,524	1,9671
	6	1,824	1,9100
	7	2,112	1,9802

Les mêmes intensités de l'autre côté du centre.

En prenant pour abscisses les distances de ces points à une origine commune, et pour ordonnées les intensités correspondantes, j'ai construit la courbe MCM' (fig. 8), qui présente bien, en effet, l'image du phénomène, comme on peut s'en assurer en répétant l'expérience. J'aurais desiré faire des constructions semblables pour toutes les autres observations, afin de faciliter la comparaison de la théorie avec l'expérience; mais la longueur des calculs et le peu de temps qui me restait pour terminer mon Mémoire ne me l'ont pas permis.

C'est par la même raison que je ne puis présenter qu'un petit nombre de résultats sur les franges produites par un corps étroit. J'ai suivi, dans la détermination de leurs *maxima* et *minima*, une marche absolument analogue à celle que j'ai indiquée pour les franges qui proviennent d'une petite ouverture : seulement, au lieu de prendre l'intégrale entre *A* et *G* (fig. 7), *AG* représentant maintenant la largeur du corps qui intercepte la lumière, je l'ai prise depuis *A* jusqu'à l'infini du côté *S*, et depuis *G* jusqu'à l'infini du côté *T*, ou, ce qui revient au même, j'ai retranché de 1 l'intégrale tabulaire prise entre les limites *A* et *G*.

Tableau comparatif des résultats de la théorie et de l'expérience sur la position des maxima *et des* minima *dans les franges produites par l'interposition d'un corps opaque étroit.*

NUMÉROS des bandes brillantes et obscures comptés à partir du centre.	VALEURS approchées de v comptées du bord du corps opaque.	INTENSITÉS correspondantes.	VALEURS de v répondant aux *maxima* ou aux *minima*, comptées du bord du corps opaque.	DISTANCES des *maxima* ou *minima* à la projection du milieu de l'ouverture.		Différences.
				Calcul.	Observat.	
		1re *Observation.* $a = 5^m,049$; $b = 0^m,615$; $c = 0^{mm},78$; valeur tabulaire de $c = 1,865$.				
1. minim. bande intér. du 1er ordre.	−0,565 −0,465 −0,365	0,08541 0,05519 0,11333	−0,481	mm 0,21	mm 0,25	− 2
4. minim. bande extér. du 1er ordre.	+1,735 +1,835 +1,935	1,5834 1,3669 1,5797	+1,835	1,30	1,30	0

Numéros des bandes brillantes et obscures comptés à partir du centre.	Valeurs approchées de v comptées du bord du corps opaque.	Intensités correspondantes.	Valeurs de v répondant aux *maxima* ou aux *minima*, comptées du bord du corps opaque.	Distances des *maxima* ou *minima* à la projection du milieu de l'ouverture. Calcul.	Observat.	Différences.
5 minim. bande extér. du 2ᵉ ordre.	+2,635 +2,735 +2,855	1,9025 1,5395 1,6959	+2,755	mm 1,75	mm 1,72	+ 1
2ᵉ *Observation.* $a=3^m,047$; $b=1^m,213$; $c=1^{mm},326$; valeur tabulaire de $c=2,520$.						
1. minim. bande intér. du 1ᵉʳ ordre.	−1,000 −0,900 −0,800	0,05937 0,01568 0,05127	−0,895	mm 0,27	mm 0,27	0
2. minim. bande intér. du 2ᵉ ordre.	−0,300 −0,200 −0,100	0,2649 0,2147 0,2722	−0,203	0,78	0,81	− 3
6. maxim. bande brillante extér. du 2ᵉ ordre.	+2,200 +2,300 +2,400	2,1547 2,5708 2,4681	+2,330	mm 2,64	mm 2,64	0
3ᵉ *Observation.* $a=6^m,598$; $b=0^m,553$; $c=1^{mm},322$; valeur tabulaire de $c=3,277$.						
3. minim. bande intér. du 3ᵉ ordre.	−0,300 −0,200 −0,100	0,2725 0,2352 0,3293	−0,221	mm 0,62	mm 0,63	− 1
5. minim bande intér. du 5ᵉ ordre.	+0,723 +0,760 +0,800	1,9753 1,9514 1,9757	+0,762	1,05	1,10	− 5
4ᵉ *Observation.* $a=0^m,778$; $b=0^m,553$; $c=1^{mm},322$; valeur tabulaire de $c=4,117$.						
3. minim. bande intér. du 3ᵉ ordre.	−1,000 −0,900 −0,800	0,10815 0,05264 0,07856	−0,882	mm 0,65	mm 0,65	0
5. minim. bande intér. du 5ᵉ ordre.	−0,100 0,000 +0,083	0,4813 0,4368 0,4843	−0,010	1,13	1,16	− 3

entre deux limites, la 1re située à $2^{mm},16$ environ du centre de l'ombre, la 2e à $2^{mm},44$, après lesquelles l'intensité de la lumière augmentait brusquement. La bande brillante du second ordre était plus vive et beaucoup plus fine qu'à l'ordinaire ; et la bande obscure du même ordre était, au contraire, devenue plus vague et plus étendue. La théorie s'accorde encore ici avec l'observation, comme on le reconnaîtra en jetant les yeux sur la figure 10, qui représente les variations d'intensité des différens points de ces franges, pour le cas de l'observation n° 2, et celui d'un écran indéfiniment étendu. Cette figure a été construite d'après les résultats du calcul réunis dans le tableau ci-dessous.

	NUMÉROS des ordonnées.	ABSCISSES ou valeurs de v.	ORDONNÉES pour l'observation n° 2.	ORDONNÉES pour le cas ordinaire.
	1	1,600	1,9304	2,0472
Limite observée.	2	1,677	1,6378	1,7369
	3	1,900	1,7466	1,5633
Limite observée.	4	2,057	1,6907	1,8187
	5	2,200	2,1547	2,2047
	6	2,300	2,5708	2,3787
	7	2,400	2,4681	2,3673
	8	2,500	2,0166	2,0511
	9	2,600	1,8093	1,8935
	10	2,700	1,8552	1,7051
	11	2,800	1,7789	1,7310
	12	2,900	1,7981	1,9571
	13	3,000	2,2184	2,2153

Je viens d'appliquer le principe d'Huyghens aux trois classes principales de phénomènes que présente la dif-

fraction; savoir : 1° aux franges produites par le bord rectiligne et indéfini d'un seul écran assez large pour qu'il ne vienne pas de lumière sensible de l'autre côté ; 2° aux franges qui résultent du système de deux écrans semblables très-rapprochés l'un de l'autre ; 3° à celles enfin qui accompagnent et subdivisent l'ombre d'un écran très-étroit (1). En comparant aux observations les résultats déduits de ce principe par la théorie des interférences, j'ai fait voir qu'il suffisait à l'explication des phénomènes dans ces différentes circonstances, et que l'expression générale de l'intensité de la lumière à laquelle il conduisait les représentait fidèlement jusque dans leurs aspects les plus bizarres et en apparence les plus irréguliers.

Mais, outre ces trois cas généraux, on peut en imaginer une infinité d'autres résultant de leur combinaison. La théorie s'y appliquerait avec la même facilité, et sans doute avec le même succès : les calculs seraient seulement plus longs en raison de la multiplicité des limites des intégrales. Les expériences exigeraient aussi des appareils plus compliqués.

Dans la première section de ce Mémoire, j'ai décrit un phénomène qui présente la combinaison de deux des cas principaux de la diffraction : ce sont les franges que la lumière engendre en passant par deux ouvertures très-

(1) Je ne comprends pas ici les franges produites par un verre prismatique ou par deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre ; à proprement parler, elles n'appartiennent pas à la diffraction, puisqu'elles ne sont point formées par des rayons diffractés ou infléchis, mais par deux faisceaux lumineux régulièrement réfléchis ou réfractés.

étroites et suffisamment rapprochées. Ayant découpé une feuille de cuivre dans la forme représentée par la fig. 11, j'ai remarqué que lorsque les larges franges produites par chacune des fentes $CEC'E'$ et $DFD'F'$ se trouvaient assez dilatées, en raison de la distance à laquelle je me plaçais de l'écran, pour que l'ombre de $CDFE$ ne contînt plus que la bande brillante du 1er ordre, les franges qui résultaient du concours des deux faisceaux lumineux étaient beaucoup plus nettes et plus vives que les franges intérieures de $ACBD$. La partie inférieure $CEDF$, d'abord plus éclairée que l'autre, devenait plus obscure lorsque je m'éloignais assez de l'écran ; mais ses franges continuaient à présenter des couleurs plus pures dans la lumière blanche, et des bandes obscures et brillantes plus tranchées dans la lumière homogène. L'appareil trop simple dont je me servais n'étant point susceptible de mesures exactes, je n'ai pas appliqué le calcul à cette expérience : je me bornerai à indiquer par des considérations générales comment on peut se rendre compte du phénomène.

Soit L (fig. 12) le point lumineux, IK la projection horizontale de la partie $AEBF$ (fig. 11) de l'écran, et P un point que l'on considère dans l'intérieur de son ombre, sur la ligne milieu LO, par exemple. Du point L comme centre et d'un rayon égal à LI, je décris l'arc IMM', qui représente l'onde incidente. Si du point P comme centre et d'un rayon égal à IP, je décris l'arc Imm', les intervalles entre ces deux arcs donneront les différences des chemins parcourus par les ondes élémentaires qui concourent au point P. Considérons d'abord le cas de la partie supérieure de l'écran, c'est-à-dire,

celui où l'onde Imm' n'est pas interceptée au-delà du point I. Concevons cette onde divisée en une infinité de petits arcs IM, MM', etc., de façon que les droites menées en P par deux points de division consécutifs diffèrent de la longueur d'une demi-ondulation, et supposons, pour fixer et simplifier les idées, que le point P soit assez éloigné du bord de l'ombre, ou le rayon IP assez incliné sur l'onde incidente pour que ces arcs soient sensiblement égaux, alors chacun d'eux se trouvera compris entre deux autres qui détruiront l'effet qu'il tend à produire au point P, excepté l'arc extrême IM, dont les rayons ne perdront que la moitié de leur intensité par leur discordance avec les vibrations de l'arc voisin MM'. Si l'on intercepte cet arc et tout le reste de l'onde, on augmentera donc la lumière au point P (1); c'est l'effet que produit à une certaine distance la partie $GC'E'$ de l'écran (fig. 11). Mais à mesure que le point P (fig. 12) s'éloigne du corps opaque, l'arc Imm' se rapproche de l'onde IMM', et il peut même s'en rapprocher indéfiniment si le point lumineux L est à une distance infinie. Les divisions M, M', etc., étant déterminées par les intervalles entre ces deux arcs, s'écarteront du point I à mesure qu'ils se rapprocheront; il en résultera donc une augmentation continuelle de la portion MI de l'onde incidente, dont les rayons envoyés au point C conserveront toujours au moins la moitié de leur intensité derrière la partie supérieure de l'écran.

(1) Elle serait augmentée bien davantage encore si l'écran était percé vis-à-vis tous les arcs de rang pair, et interceptait seulement les rayons de ceux de rang impair.

Mais, dans la partie inférieure, l'ouverture *CE C'E'* (fig. 11) n'augmentant pas de largeur, si le point lumineux est suffisamment éloigné, l'arc éclairant *IM* (fig. 12) deviendra à la fin assez grand par rapport à cette ouverture, pour que le point *P* reçoive plus de lumière dans la partie supérieure de l'ombre que dans la partie inférieure.

Considérons maintenant les franges produites par le concours des rayons lumineux qui viennent des deux côtés de l'écran *AEBF* (fig. 11). Derrière la partie supérieure *AB CD*, la lumière infléchie diminuant rapidement d'intensité à mesure qu'elle s'éloigne du bord de l'ombre géométrique, toutes les franges, excepté celles qui sont très-voisines du centre, sont formées par deux faisceaux lumineux qui diffèrent beaucoup d'intensité; par conséquent les bandes obscures doivent être peu prononcées quand on se sert de lumière homogène, et les couleurs mêlées de gris lorsqu'on emploie la lumière blanche. Derrière la partie inférieure *CE DF*, les deux faisceaux lumineux introduits par les fentes *CE C'E'* et *DFD'F'* ont une intensité à-peu-près uniforme dans une étendue assez considérable de la bande brillante du premier ordre de chacune de ces ouvertures; et si elles sont assez étroites, par rapport à l'intervalle qui les sépare, pour que l'espace dans lequel la lumière infléchie est sensiblement uniforme comprenne toutes les franges qui proviennent du concours des deux faisceaux lumineux, alors les vibrations lumineuses se détruiront presque entièrement dans les points de discordance complète; les bandes obscures seront en conséquence bien plus prononcées que dans la partie supérieure de l'om-

bre lorsqu'on emploiera de la lumière homogène, et la lumière blanche y fera naître des couleurs beaucoup plus pures.

Quand on observe ces franges près de l'écran, avant que les franges plus larges produites par chaque fente soient sorties de l'ombre de *AEBF*, le phénomène présente un aspect très-compliqué, et qui change rapidement avec la distance de la loupe, surtout lorsque l'intervalle entre les deux fentes n'est pas très-considérable relativement à leur largeur. Il serait intéressant de déterminer par le calcul la position des *maxima* et *minima* des bandes obscures et brillantes, et de comparer ces résultats avec ceux de l'observation. Je ne doute pas que la théorie n'en reçût encore une nouvelle confirmation.

Jusqu'à présent j'ai supposé que toutes les ondes émanaient d'un centre unique. Les points lumineux, dans les expériences de diffraction, sont toujours un assemblage d'une infinité de centres de vibration, et c'est à chacun d'eux en particulier qu'on doit appliquer tout ce qui a été dit précédemment. Tant qu'ils sont très-peu éloignés les uns des autres, les franges qu'ils produisent coïncident sensiblement; mais les bandes obscures des uns se mêlent avec les bandes brillantes des autres à mesure qu'on augmente les dimensions du point éclairant, et elles finissent par s'effacer complètement. Cet effet est d'autant plus sensible sur les franges extérieures, qu'on s'éloigne davantage de l'écran, parce qu'il augmente comme cette distance, tandis que la largeur des bandes obscures et brillantes croît dans un rapport plus lent. Voilà pourquoi un point lumineux assez fin pour produire des franges très-nettes dans le voisinage du

corps opaque, peut n'en donner que de très-confuses à une distance plus considérable.

Il n'est pas nécessaire que le corps interposé soit opaque pour que cette interposition détruise sur ses bords l'équilibre transversal des ondes lumineuses ; il suffit qu'une partie de l'onde soit retardée par rapport aux parties contiguës. C'est l'effet que produisent les corps transparens dont le pouvoir réfringent diffère sensiblement du milieu qui les entoure : aussi font-ils naître des franges qui bordent en dedans et en dehors l'ombre de leur contour. Elles sont même tout-à-fait semblables aux franges extérieures des corps opaques, lorsque la différence de marche entre les rayons qui ont parcouru l'écran transparent et les autres est d'un nombre d'ondulations un peu considérable, parce qu'alors les effets de leur influence mutuelle ne sont plus sensibles, et qu'il ne résulte de leur mélange qu'une simple addition de lumière uniforme. Mais il n'en est pas ainsi quand l'écran transparent est très-mince, ou que son pouvoir réfringent diffère très-peu de celui du milieu dans lequel il est plongé : alors les franges sont sensiblement altérées par l'influence mutuelle des rayons lumineux qui ont traversé la lame transparente et de ceux qui ont passé à côté. C'est par une raison semblable que les stries des lames de mica résultant de légères variations d'épaisseur font naître des franges qui se colorent dans la lumière blanche d'une façon toute particulière, ainsi que M. Arago l'a remarqué.

Quant aux franges du genre de celles que nous avons appelées *intérieures*, on ne peut pas les obtenir par l'interposition d'un écran transparent suffisamment étroit,

parce que la lumière directe qui le traverse, beaucoup plus vive que les rayons infléchis, masque les effets de leur influence mutuelle; et que d'ailleurs les bandes obscures et brillantes que ce corps transparent tend à faire naître comme ouverture étroite ne coïncident pas avec celles qu'il tend à produire comme écran d'une petite étendue.

Les phénomènes de la diffraction une fois expliqués pour le cas d'une lumière homogène sont faciles à concevoir dans la lumière blanche. Les franges résultent alors de la superposition de toutes les bandes obscures et brillantes de diverses largeurs produites par les différentes espèces d'ondes dont se compose la lumière blanche. Ainsi, après avoir calculé l'intensité de chaque espèce principale de rayons dans le point que l'on considère, au moyen de la théorie que je viens d'exposer, on trouvera la teinte qui s'y manifeste, en substituant ces valeurs dans la formule empirique que Newton a donnée pour déterminer le résultat d'un mélange quelconque de rayons colorés.

Les surfaces polies éclairées par un point lumineux présentent des phénomènes de diffraction tout-à-fait semblables à ceux qu'on observe dans la lumière directe. Le champ lumineux réfléchi par un miroir est bordé de franges pareilles à celles qui entourent les ombres des corps. Quand sa surface est très-étroite, ou qu'on la noircit en y conservant seulement une ligne brillante, ou qu'on l'incline beaucoup de manière à diminuer suffisamment la largeur du champ lumineux (1), on

(1) L'aspect du phénomène est rigoureusement le même que si les rayons émanaient de l'image du point lumineux,

reproduit le phénomène singulier d'un faisceau lumineux dilaté par une ouverture très-étroite. Deux lignes brillantes, suffisamment rapprochées sur la surface d'un miroir noircit dans le reste de son étendue, font naître les mêmes franges que deux fentes pareilles dans un

---

et qu'on remplaçât le miroir par un écran percé d'une ouverture égale à la surface réfléchissante et semblablement inclinée. Mais les franges ainsi produites ne sont pas tout-à-fait pareilles à celles que formerait une ouverture dont le plan n'aurait pas la même inclinaison, serait, par exemple, perpendiculaire au faisceau lumineux, quoique d'ailleurs sa distance au point radieux et son ombre géométrique fussent égales à celles de l'ouverture inclinée. La différence est d'autant plus sensible que la largeur de l'ouverture ou du miroir incliné est plus considérable par rapport à leur distance au point lumineux. Il en est de même des franges intérieures produites par un écran incliné, comparées à celles d'un écran perpendiculaire.

La raison de cette différence est facile à saisir. Soient *A* et *G* (fig. 13) les deux bords de l'écran incliné, et *C* le point lumineux. Considérons l'onde incidente, d'un côté, au moment où elle arrive en *A*, de l'autre, au moment où elle n'a point encore dépassé le point *G*; de sorte que les ondes élémentaires ne se trouvent modifiées ni antérieurement ni postérieurement par l'interposition de l'écran. Supprimons-le pour un instant, et prolongeons les arcs *GN* et *AM* jusqu'à leurs rencontres *D* et *B* avec une droite commune *CP* menée par le point lumineux. Il est clair que la résultante de toutes les vibrations qui émanent de la demi-onde *DGN* et concourent au point *P*, doit être pareille de grandeur et de position à la résultante des ondes élémentaires parties de la demi-onde *BAM*, et concourant au

écran. Si, au lieu de noircir une grande partie de la surface réfléchissante, on n'y trace, au contraire, qu'une ligne noire d'une largeur peu considérable, elle produira des franges semblables à celles qu'on observe dans l'ombre d'un écran étroit. Enfin, les phénomènes se passent

---

même point P. Cela posé, s'agit-il de déterminer le milieu de la bande brillante du premier ordre dans l'ombre de l'écran AG? Il faut chercher pour quelle position du point P il y a coïncidence parfaite entre la résultante des ondes élémentaires qui émanent de GN et celle des ondes élémentaires qui prennent leur source dans l'onde MA. Il est clair que cette condition est satisfaite quand les arcs DG et AB, supprimés par l'écran, répondent à la même différence de chemins parcourus, c'est-à-dire, lorsque $CG+GP-CP=CA+AP-CP$, ou $CG+GP=CA+AP$, parce qu'alors les intégrales qui donnent les deux résultantes sont composées des mêmes élémens. Mais la ligne CP qui satisfait à l'équation $CG+GP=CA+AP$ n'est point celle qui divise l'angle ACG en deux parties égales; elle s'approche davantage du côté A le plus voisin de la loupe, ce qui détruit la symétrie des franges intérieures par rapport aux bords de l'ombre géométrique; et cet effet se trouve encore augmenté, dans ses apparences, par la plus grande extension des franges extérieures qui viennent de l'autre côté de l'écran.

On démontrerait, par des raisonnemens semblables, que les franges produites par un diaphragme incliné ne doivent pas être disposées d'une manière symétrique relativement à la ligne qui divise en deux parties égales l'angle des deux rayons tangens aux bords de l'ouverture, ainsi que cela a lieu lorsque le plan du diaphragme est perpendiculaire au faisceau lumineux.

absolument comme si, la surface du miroir étant transparente, les rayons émanaient réellement de l'image du point lumineux. La raison en est bien simple. On sait que l'image, placée sur la perpendiculaire abaissée du point lumineux et à une distance égale de la surface du miroir, jouit de cette propriété remarquable, que sa distance à un point quelconque de cette surface est égale à celle du même point au point lumineux. En considérant donc les rayons comme partis de l'image même du point lumineux, on ne change rien à la différence des chemins parcourus par les ondes élémentaires qui concourent à la formation des franges, et par conséquent à la largeur et aux intensités relatives de leurs bandes brillantes et obscures.

A cette occasion, je remarquerai que la position de la résultante des ondes élémentaires pour un endroit quelconque dépendant uniquement de ces différences de chemins parcourus, doit être, après la réflexion, la même que si les rayons émanaient effectivement du point dont je viens de parler; par conséquent, dans le cas d'une surface polie indéfiniment étendue, toutes les résultantes partielles seront situées à la même distance de ce point, qui se trouvera ainsi le centre de l'onde réfléchie.

C'est par la considération de ces ondes élémentaires qu'Huyghens a expliqué d'une manière si simple les lois de la réflexion et de la réfraction, en ramenant ces phénomènes aux mêmes principes que la propagation de la lumière dans un milieu homogène. Mais son explication laissait quelque chose à desirer. Il n'avait pas montré comment il ne résulte qu'un seul système d'ondes de cette multitude de systèmes d'ondes élémentaires, parce qu'il

n'avait point fait entrer en considération le principe des interférences. Il supposait que la lumière n'est sensible que dans les points où les ondes élémentaires coïncident parfaitement ; tandis que l'absence totale du mouvement lumineux ne peut tenir qu'à l'opposition des mouvemens élémentaires. C'est sans doute ce qui lui a fait croire qu'il ne s'infléchissait pas de lumière sensible dans les ombres, et l'a empêché de deviner les phénomènes de la diffraction, dont sa théorie pouvait lui dévoiler les lois sans le secours de l'expérience.

Cette théorie, aidée du principe des interférences, indique donc la marche des rayons réfléchis, non-seulement dans le cas particulier d'une surface polie indéfiniment étendue, mais encore dans ceux d'une surface très-étroite ou discontinue ; elle fait voir comment le peu de largeur de la surface occasione la dilatation de la lumière réfléchie, et comment un système de miroirs très-étroits placés l'un à côté de l'autre, et séparés seulement par de très-petits intervalles, peut produire des images colorées en raison de l'influence mutuelle des faisceaux lumineux ainsi dilatés : c'est le phénomène des surfaces rayées. Elle explique avec la même facilité les images et les anneaux colorés produits par un tissu très-fin et un assemblage irrégulier de fils très-déliés ou d'atomes légers, d'une grosseur à-peu-près égale, placés entre l'œil du spectateur et un objet lumineux.

Je ne crois pas nécessaire de m'appesantir sur ces phénomènes, qui ne sont que des combinaisons de ceux que j'ai décrits précédemment et dont j'ai essayé de donner une théorie générale.

OBSERVATIONS

Sur la Décomposition de l'amidon à la température atmosphérique, par l'action de l'air et de l'eau.

PAR M. THÉODORE DE SAUSSURE.

(Lu à la Société royale le 17 décembre 1818.)

L'EXAMEN des changemens que les substances végétales subissent en agissant les unes sur les autres, et par leur exposition à l'action de l'air et de l'eau, est le plus sûr moyen d'expliquer plusieurs effets de la végétation ; s'il ne conduit pas à ce but, il donne lieu à des expériences importantes pour la théorie de la fermentation.

L'amidon n'a presque pas été examiné sous ce rapport, ou du moins il ne l'a été que par des observations insuffisantes et indirectes : je rappellerai celles qui qui me sont connues.

Lorsqu'on eut trouvé que les graines céréales formaient du sucre en germant, et que cette production n'avait pas lieu en même temps à la température atmosphérique, dans des graines privées du contact du gaz oxigène, et imprégnées d'eau (1), on fut conduit à admettre que ce gaz, qui disparaît dans la germination pour former de l'acide carbonique avec le carbone de la

---

(1) *Some experim. and observ. on the nature of sugar by* W. CRUIKSHANKS.

semence, était le principal agent (1) de la conversion de la matière farineuse en sucre, sans avoir cependant aucune preuve directe de cette théorie; d'ailleurs l'observation que les graines céréales ne forment point de sucre avec l'eau sans le contact de l'air, n'avait été fondée que sur leur saveur, ou sur un aperçu trop vague pour qu'il pût être admis sans un examen ultérieur.

M. Vogel a recherché l'influence de la chaleur sur l'amidon mêlé d'eau, en le soumettant à l'ébullition avec ce liquide pendant quatre jours de suite. Le mélange est devenu très-fluide; il a transmis par la filtration un liquide qui, après avoir été évaporé, a présenté un mucilage épais et amer qui n'avait pas le moindre goût sucré. L'amidon resté sur le filtre résistait à l'action de l'eau bouillante, et présentait une masse cornée très-dure (2).

On n'ignore pas que M. Kirchoff a découvert, dans ces derniers temps, qu'en ajoutant du gluten sec pulvérisé à une double quantité d'amidon réduit à l'état d'empois, et qu'en les faisant digérer pendant dix ou douze heures à une température de 50° à 75° cent., celui-ci se convertit en partie en sucre. Ce résultat très-intéressant, mais dont les circonstances n'ont pas été suffisamment déterminées, a conduit ce chimiste à admettre que la conversion de l'amidon en sucre, dans la germination, s'opère uniquement par le gluten, et à exclure l'explication de ceux qui, avant ses observations, avaient attribué ce changement à l'influence du gaz oxigène sur la ma-

(1) *Some experim., etc.* et *System. of chemistry by* Th. Thomson.

(2) *Ann. de Chim.* LXXXII.

ière farineuse. M. Kirchoff appuie sa réfutation en avançant que l'amidon seul, placé dans des circonstances favorables à la germination, ne forme point de sucre.

Les expériences que je vais décrire prouvent cependant que l'empois d'amidon seul et abandonné à lui-même forme, au bout d'un certain temps, une quantité considérable de sucre cristallisable, et qui a beaucoup de rapports avec celui que ce chimiste a obtenu par l'acide sulfurique. Cette décomposition spontanée de l'amidon mêlé d'eau fournit encore d'autres produits, et en particulier une espèce de gomme et une matière intermédiaire entre celle-ci et l'amidon. Leur proportion varie suivant plusieurs circonstances qu'il est très-difficile de déterminer. Pour indiquer l'ordre de mes recherches et le procédé de mes analyses, j'exposerai en détail la première que j'ai faite à ce sujet. C'est celle dans laquelle la décomposition de l'amidon a été la plus avancée, quoique ce ne soit pas l'opération qui m'ait fourni la plus grande quantité de sucre.

J'ai placé de l'empois formé avec vingt grammes d'amidon (1), et douze fois son poids d'eau distillée bouil-

---

(1) L'amidon employé à cette expérience était de l'amidon de froment, pris dans le commerce sous le nom d'*amidon de première qualité*. On n'en pouvait pas séparer une quantité notable de gluten; car, après avoir mis cet amidon en macération pendant dix jours avec trente fois son poids de vinaigre distillé, il a fourni par la filtration une liqueur qui, étant évaporée, a laissé un résidu acide, mou, dont le poids n'était que la quatre millième partie de l'amidon employé; et ce résidu retenait un peu d'eau, le mucilage du vinaigre,

lante dans un vase cylindrique où le mélange offrait une grande surface à l'air, et formait une couche de deux centimètres d'épaisseur. Ce vase, recouvert d'un grand récipient sous lequel l'air extérieur pénétrait facilement, a été laissé en repos pendant deux ans dans un lieu où la température s'élevait en été jusqu'à 22°,5. Lorsqu'à cette époque le mélange a été retiré, il a présenté une pâte grise, liquide, couverte de moisissure et presque sans odeur; elle ne changeait alors, ni dans aucune époque antérieure de son altération, ni après avoir été délayée et filtrée, les couleurs végétales employées comme réactifs; elle ne pouvait plus faire les fonctions de colle. Le poids de l'amidon avant son altération était beaucoup plus grand que celui de cet amidon altéré; le premier était au second comme 100 : 76,2 après leur dessèchement à la température atmosphérique, et comme 100 : 80 après leur dessèchement à la température de l'eau bouillante.

La pâte dont je viens de parler a été mise en macération pendant vingt-quatre heures avec une quantité d'eau *froide* à-peu-près égale à vingt fois le poids de l'amidon considéré dans l'état sec, puis jetée sur un filtre de papier, et lavée avec une nouvelle dose de liquide; elle

---

et environ le sixième de son poids d'acide acétique. L'eau froide, mise en macération pendant vingt-quatre heures sur cet amidon, ne lui enlevait pas une quantité sensible de son poids. Cent parties de cet amidon séché à 22°,5 perdaient par le dessèchement, à la température de l'eau bouillante, 13,66 de leur poids. J'ai varié mes expériences avec des amidons pris dans différens magasins : ils m'ont tous fourni des résultats analogues à ceux que je décris dans le texte.

a fourni une liqueur transparente, d'un jaune pâle, qui a laissé après son dessèchement un extrait un peu mou, et dont le poids était égal à 0,47 soit environ à la moitié de celui de l'amidon qui avait formé l'empois. Cet extrait a été dissous dans une fois son poids d'eau, puis mêlé avec dix fois son poids d'esprit-de-vin à 35° de l'aréomètre de Baumé : il a dissous le sucre en précipitant une espèce de gomme qui retenait un peu de sucre et d'un produit intermédiaire entre la gomme et l'amidon. On a purifié cette gomme en la traitant par l'alcool comme l'extrait précédent, en la dissolvant ensuite dans l'eau et en la filtrant : après avoir été desséchée, son poids était égal à deux grammes ou au dixième de l'amidon mis en expérience (1).

Les dissolutions alcooliques, évaporées d'abord à un feu doux et ensuite à la température atmosphérique, ont commencé par présenter un résidu sucré, transparent, en consistance de miel, qui retenait encore un peu de gomme que j'ai comprise dans le produit précédent; elle

---

(1) L'eau dissout cette gomme en toute proportion : la solution n'est point troublée par l'acétate et le sous-acétate de plomb, par la noix de galle et la liqueur des cailloux; elle ne produit aucun changement de couleur dans la solution aqueuse d'iode : traitée par l'acide nitrique, elle ne donne point d'acide mucique. Elle se décompose à l'air au bout d'un certain temps, sans passer à l'état acide, en prenant une odeur putride et en déposant d'épaisses mucosités : l'eau de baryte la trouble faiblement. Cette gomme a beaucoup de rapports avec celle qu'on obtient de l'amidon torréfié.

a été séparée par une nouvelle dissolution dans l'eau, et la précipitation par l'alcool. Il s'est formé, au bout de peu de jours, dans le résidu de l'évaporation de la liqueur alcoolique, des cristaux le plus souvent réunis en groupes sphériques, hérissés de lames transparentes; ils présentaient au microscope, lorsqu'ils étaient isolés, des lames carrées et des cubes. Bientôt ce résidu s'est presque entièrement converti en une masse opaque de sucre concret, jaunâtre, doué de l'odeur propre à la cassonade; il est resté long-temps gluant par son mélange avec un sirop plus difficile à cristalliser; mais, par une longue exposition à l'air, le tout a paru sec et homogène. Son poids était égal à 0,37, soit à plus du tiers de l'amidon employé pour cette expérience.

Ce sucre, que je n'ai pas dépouillé de son principe colorant, passe à la fermentation alcoolique avec une très-petite quantité de levure; si elle était trop abondante ou si elle montait à un cinquième du sucre, ce mode de décomposition n'aurait point lieu.

Cent parties d'alcool absolu bouillant en dissolvent cinq ou six parties. L'alcool à 35° Baumé en dissout un huitième de son poids à une température de 25°, si le sucre est dans l'état sec ou entièrement concréfié; car s'il était un peu visqueux par son mélange avec une matière plus difficile à cristalliser, cet alcool en dissoudrait une plus grande quantité.

Ce sucre s'est liquéfié à la température de l'eau bouillante; il a perdu par cette opération entre les 0,07 et les 0,08 de son poids. Comme ses principales propriétés conviennent au sucre d'amidon préparé par l'acide sul-

furique, il est très-probable que ces deux substances sont identiques.

Après avoir extrait par l'eau froide les produits gommeux et sucrés contenus dans le résidu de la décomposition de l'amidon, je l'ai soumis deux fois pendant une ou deux minutes à l'ébullition avec une quantité d'eau égale à celle qui avait été employée dans l'opération précédente. Les décoctions filtrées après leur *refroidissement* ont fourni par l'évaporation à siccité un résidu fragile, jaune, à demi transparent; son poids était égal à la septième partie de l'amidon employé. Cette substance a des propriétés intermédiaires entre le principe gommeux précédent et l'amidon. Pour éviter les périphrases, je lui donnerai ici le nom de *amidine* (1).

---

(1) Pour purifier l'amidine, on la lave avec une petite quantité d'eau froide après l'avoir réduite en poudre; on la fait ensuite dissoudre dans l'eau bouillante et on filtre la dissolution après son refroidissement. Desséchée de nouveau, l'amidine se présente en fragmens blancs, opaques et irréguliers, ou sous l'apparence d'une matière jaune pâle, à demi transparente et très-friable. L'eau dissout l'amidine en toute proportion à une température d'environ 60°. La décoction peut être rapprochée par l'évaporation au point de contenir le quart de son poids d'amidine en dissolution sans se troubler ou sans se convertir en pâte et en gelée par le refroidissement; ce qui n'a point lieu pour l'amidon. Lorsque la dissolution d'amidine est plus rapprochée, elle se précipite en partie, par le refroidissement, en une matière blanche et opaque; mais cette dernière se dissout en présentant

La pâte qui est restée sur le filtre, après l'action de l'eau bouillante sur l'empois altéré, pouvait dès-lors faire les fonctions de colle; elle était presque noire, et dans l'état sec son poids était égal à la sixième partie de l'amidon mis en expérience. L'éther ou l'alcool absolu mis en digestion sur ce résidu a dissous en partie une matière colorante, brune, qui en était précipitée par l'eau. Cette matière colorante desséchée s'est présentée sous l'apparence d'une huile ou d'une résine épaisse et visqueuse, mais trop peu abondante pour que j'aie pu

---

une liqueur transparente à une température de 60° : sous ce rapport, elle se rapproche de l'inuline.

La dissolution aqueuse d'amidine faite à froid se colore en bleu avec l'iode, et présente avec ce réactif tous les caractères de l'amidon : le sous-acétate de plomb la coagule en une pâte blanche et opaque; l'eau de baryte la trouble abondamment.

Les solutions aqueuses de potasse dissolvent l'amidine : ces combinaisons sont très-fluides, et ne se présentent point dans l'état visqueux et filant de l'amidon. Les acides faibles en précipitent l'amidine avec toutes ses propriétés. L'alcool y produit aussi un précipité abondant; mais ce dernier retient une certaine proportion d'alcali qui fait que l'amidon précipité ne se colore en bleu par l'iode que lorsqu'on y ajoute un acide.

L'amidine diffère donc principalement de l'amidon en ce que l'eau froide peut la dissoudre, en ce qu'elle ne forme point de gelée avec l'eau bouillante, ni des combinaisons visqueuses avec les lessives de potasse. Les caractères qui la distinguent du principe gommeux dont j'ai parlé précédemment sont : 1° de n'être pas soluble dans l'eau froide en toute proportion; 2° de colorer en bleu la solution

la mieux examiner. Elle n'équivalait qu'à trois millièmes de l'amidon employé.

On sait qu'une partie d'amidon se dissout en peu de minutes à l'aide d'une douce chaleur, et sans décomposition apparente, dans quarante fois son poids d'acide sulfurique délayé, composé d'une partie d'acide sur douze d'eau ; mais cette liqueur soumise à l'ébullition dans les mêmes proportions avec le résidu amilacé pulvérisé, sur lequel l'eau bouillante et l'alcool n'avaient plus d'action, n'en a pu dissoudre que les 0,35, soit environ le tiers. La partie dissoute qu'on pouvait précipiter en partie par l'alcool (1) était de l'amidon non décomposé mêlé d'une petite quantité d'amidine.

---

aqueuse d'iode ; 3° de former avec l'eau une dissolution qui est coagulée par le sous-acétate de plomb.

Je n'ai point pu obtenir d'amidine par la germination du froment. Si ce produit s'y forme, c'est sans doute en trop petite quantité pour qu'on puisse le séparer de l'amidon. Dans l'analyse que j'ai faite de 100 parties de froment, avant et après sa germination, 6 parties de sa substance farineuse ont paru détruites par cette végétation, et elles ont été remplacées par $3\frac{1}{2}$ parties de mucilage et $2\frac{1}{2}$ de sucre sec déliquescent. Si, comme on peut le présumer, l'amidine se forme en aussi petite quantité que ces produits, elle peut rester confondue avec l'amidon sans qu'on puisse l'en séparer. D'ailleurs, je n'ai pas trouvé, malgré les assertions contraires de MM. Proust et Dobereiner, que l'amidon du froment fût notablement changé dans ses propriétés par la germination.

(1) L'amidon forme avec l'acide sulfurique une combinaison qui cristallise en aiguilles transparentes, prismatiques,

La matière insoluble par l'acide sulfurique délayé se montrait après son dessèchement, sous l'apparence de grumeaux opaques, très-fragiles; ils se sont dissous facilement (sauf un petit résidu composé de ligneux et de charbon) à l'aide d'une douce chaleur, dans dix fois leur poids d'une lessive de potasse qui contenait un douzième de cet alcali; ils ont formé ainsi une solution brune, très-liquide, qui n'avait point la consistance visqueuse et gélatineuse propre aux solutions alcalines d'amidon, et ils en étaient précipités par l'acide sulfurique délayé, sous la forme d'une poudre combustible, jaune, légère, qui après son dessèchement offrait une masse noire, brillante, semblable à du jayet. Cette dernière, délayée dans

---

très-fines ou très-allongées. Pour obtenir ce produit, on précipite par de l'alcool la dissolution d'amidon dans l'acide sulfurique délayée, on lave avec de l'alcool le précipité, qui est un mélange d'eau, d'acide sulfurique, d'amidon pur et de la susdite combinaison : elle se dissout en partie par une petite quantité d'eau froide. Cette dissolution, filtrée, fournit par une évaporation lente et spontanée les cristaux dont j'ai parlé, mêlés avec de l'acide sulfurique libre qu'on enlève par des lavages avec de l'alcool. Ces cristaux sont en partie décomposés par l'eau qui en précipite de l'amidon; mais en filtrant la dissolution aqueuse, en évaporant, et en enlevant avec de l'alcool l'acide sulfurique mis à nu, on obtient de nouveau la combinaison sèche et cristallisée d'acide sulfurique et d'amidon. Ce dernier, précipité de cette combinaison par l'eau, a subi une légère altération; car il ne peut précipiter qu'en rouge de vin la solution aqueuse d'iode.

l'eau, colorait encore en bleu la solution aqueuse d'iode.

La substance végétale dont cette matière amilacée, insoluble à chaud par l'acide sulfurique délayé, se rapproche le plus, est le ligneux ou le bois : elle en diffère cependant en ce qu'elle est soluble dans des lessives de potasse plus étendues que celles qui peuvent dissoudre ce dernier, et en ce qu'elle colore en bleu la solution aqueuse d'iode. Je désignerai cette matière sous le nom de *ligneux amilacé*.

Le charbon mêlé de ligneux que la lessive alcaline précédente n'a pu dissoudre équivalait à un vingtième de l'amidon employé. Ils n'ont laissé après leur combustion qu'une très-petite quantité de cendres.

Pour reconnaître le genre d'altération que l'air avait éprouvée pendant la formation de tous les produits précédens, j'ai exposé sous des récipiens pleins d'air et fermés par du mercure, de l'empois récent d'amidon, et d'autre part, de l'empois à différentes époques de son altération par l'action antérieure de l'air. Dans toutes ces expériences, le volume de l'air renfermé dans les récipiens n'a subi aucun changement : le gaz oxigène en a été en partie détruit; mais il a été remplacé par un volume égal de gaz acide carbonique. L'altération que l'amidon a fait subir ainsi à l'air ne s'est opérée que lentement; dans le cas où elle était la plus rapide, et où j'ai employé de l'empois récent, quinze grammes de cette substance, contenant un douzième d'amidon, n'ont formé sous une grande surface (1), pendant deux mois, à envi-

(1) Lorsque l'empois n'offre pas une grande surface à l'air, il dégage du gaz acide carbonique à la formation duquel cet

ron 22°, que cinquante centimètres cubes de gaz acide carbonique dans un décimètre cube d'air. La même quantité d'empois, après deux ans d'exposition à l'air libre, produisait, dans une expérience semblable, un volume de gaz acide égal au quart du précédent. Ces expériences montrent que l'influence du gaz oxigène sur l'amidon se borne à lui enlever du carbone. J'ai vu de plus en même temps que la perte de poids que l'amidon altéré se trouve avoir éprouvée après son dessèchement est beaucoup plus grande que celle qui résulte de la soustraction de ce carbone. On peut en conclure que l'amidon, en s'altérant à l'air, perd sous forme d'eau, une grande proportion de son oxigène et de son hydrogène. Le carbone enlevé à l'amidon par l'air était à l'eau qui se formait en même temps dans le rapport de 1 : 74 pendant les deux premiers mois de l'altération.

La colle d'amidon laissée en repos à l'air libre se couvre de moisissure, et il était possible que les résultats que j'ai obtenus fussent l'effet de cette végétation; j'ai empêché son développement, soit en agitant l'empois tous les jours, soit en le plaçant dans de grandes jares fermées, pleines d'air, qui avaient été exposées à la température de l'eau bouillante, immédiatement avant l'introduction de l'amidon, et je n'en ai pas moins obtenu tous les produits dont j'ai parlé précédemment, savoir: du sucre, de la gomme, de l'amidine, une substance

---

air n'a aucune part, et alors on n'observe plus d'égalité entre les volumes du gaz oxigène consumé et du gaz acide carbonique produit.

d'apparence huileuse, une matière ligneuse, de l'eau, du charbon, et enfin du gaz acide carbonique dont l'oxigène appartient à l'air ambiant.

En répétant les expériences précédentes, soit avec de l'amidon de froment, soit avec celui de pomme de terre, dans différentes circonstances, et toujours avec le contact de l'air, j'ai obtenu les mêmes produits; leurs proportions seules ont varié. Elles m'ont paru indiquer, 1° qu'il se formait moins d'eau lorsque l'empois offrait moins de surface à l'air; 2° qu'une température un peu plus élevée que celle qui avait été employée dans ma première expérience favorisait beaucoup la production du sucre; 3° que tout celui qui s'était produit dans cette épreuve n'avait pas été recueilli parce qu'il s'était détruit par une fermentation trop prolongée.

Pour déterminer d'une manière précise si l'empois d'amidon se décompose sans le contact de l'air en formant du sucre, j'ai rempli, à la réserve de 8 centimètres cubes, une bouteille avec 300 centim. cubes d'empois. Il a été préparé dans ce vase, qui a été bouché et mastiqué avec du ciment pendant que l'eau était chaude, pour expulser l'air contenu dans le petit espace désigné plus haut. Cette bouteille a été placée en été dans une chambre où la température s'est maintenue entre 22 et 25 degrés.

J'ai exposé en contact avec l'air, dans un vase ouvert, très-évasé, à côté du précédent, du même empois qui a été agité tous les jours avec une spatule, et auquel on a ajouté successivement de l'eau distillée pour remplacer celle qui s'évaporait. Il ne s'y est point formé de moi-

sissure, et il est devenu en peu de temps tout-à-fait liquide.

Au bout de trente-huit jours, j'ai analysé l'empois altéré contenu dans les deux vases. Il avait perdu l'odeur propre à l'amidon récent, et n'en avait point contracté de bien marquée. Il s'était dégagé dans la bouteille fermée un air condensé qui s'est échappé à son ouverture avec une sorte d'explosion, et que j'ai trouvé, par des expériences subséquentes, être du gaz acide carbonique mêlé de gaz hydrogène.

Après avoir réduit par l'agitation les deux empois en une consistance uniforme, et les avoir pesés, j'en ai séparé une partie déterminée pour la sécher, et juger ainsi du changement de poids que l'amidon avait subi. Ils m'ont fourni des résultats très-différens.

L'amidon avait diminué de poids par la fermentation *avec* le contact de l'air dans le rapport de 100:83 avec des dessèchemens opérés à la température de l'eau bouillante.

L'amidon altéré *sans* le contact de l'air n'avait subi, après son dessèchement au même degré, aucune diminution de poids; il paraissait même avoir augmenté de un cinq centième. Cette augmentation se confond avec les erreurs d'observation; mais si l'on considère que pendant la fermentation il a formé du gaz acide carbonique dont je n'ai pas tenu compte, et qu'il a diminué de poids, en se décomposant et en produisant de l'eau pendant un dessèchement (1) qui a duré deux ou trois

(1) Les dessèchemens avant et après la fermentation ne sont pas faits dans des circonstances égales. Le premier s'o-

jours avec le contact de l'air, l'on doit être porté à admettre que cette fécule s'est assimilé les élémens de l'eau dans la fermentation sans le contact de l'air.

Lorsque les dessèchemens étaient faits à la température de 22°, l'amidon paraissait avoir diminué de poids par la fermentation sans le contact de l'air, dans le rapport de 100:95,8 ; mais cette diminution était illusoire, parce qu'il retenait plus d'eau hygrométrique avant sa fermentation ; 100 parties d'amidon non fermenté perdaient 13,66 d'eau par un dessèchement à 100° ; et 100 d'amidon fermenté ne perdaient que 9,87 par la même opération (1).

---

père sur une matière déjà sèche en apparence et inaltérable à l'air par l'eau qu'elle recèle. Le second est fait sur une substance réduite en pâte et très-altérable à l'air dans l'eau qui l'environne. J'ai préparé de l'empois avec 100 parties d'amidon séché à 100° ; cette pâte, réduite par l'évaporation à l'état sec sous la température précédente, n'a représenté par son poids que 98,5 parties d'amidon. Ce résultat indique qu'une substance analogue, dont le poids dans l'état sec ne se serait point trouvé changé après un pareil traitement, aurait accru sa matière solide avant son dessèchement ; et c'est ce qui a eu lieu avec l'amidon fermenté sans le contact de l'air.

Tous ces dessèchemens ont été commencés à une chaleur de 50°, et achevés à la température atmosphérique. La substance a dès-lors été pulvérisée, puis placée dans la cucurbite d'un alambic recouvert de son chapiteau, et dont le bain-marie était tenu en ébullition pendant sept heures.

(1) En analysant le sucre produit par l'action de l'acide sulfurique et de l'eau sur l'amidon (*Bibl. brit.* vol. LVI),

100 parties d'amidon de froment séché à 22° ont laissé par leur fermentation spontanée avec l'eau, dans trente-huit jours, sans le contact de l'air, un résidu qui contenait, après son dessèchement à la température précédente,

---

j'ai trouvé que cette production s'opère par la fixation des élémens de l'eau dans l'amidon. Je suis parvenu à la même explication, ou plutôt à sa confirmation, en montrant que la quantité de sucre formée par ce procédé est plus grande que celle de l'amidon employé, lorsqu'ils sont séchés l'un et l'autre à la température de l'eau bouillante. Cette observation pourrait paraître opposée à celle qui montre que le résidu de la décomposition de l'amidon à l'air pèse moins que l'amidon employé; mais il est peut-être superflu d'observer que ces effets ne sauraient être comparés, parce que, dans celui de l'acide sulfurique, le sucre est, en dernier résultat, le seul produit notable de l'opération; tandis que, dans la fermentation de l'amidon à l'air, il se forme plusieurs produits dans lesquels les élémens de l'eau sont répartis d'une manière très-inégale, et se perdent en partie par l'évaporation.

Par la fixation des élémens de l'eau dans l'amidon pour former le sucre, je n'entends pas qu'ils s'y trouvent dans l'état d'eau solidifiée ou d'eau de cristallisation; la manière dont ils sont répartis est encore indéterminée.

Cette fixation de l'eau a lieu sans doute plus souvent qu'on ne le pense dans le traitement des substances végétales ou animales par les procédés ordinaires de nos laboratoires. J'ai trouvé que les nouvelles propriétés que les graisses acquièrent par la saponification tiennent princi-

Sucre.	47,4 ;	
Gomme.	23,0 ;	
Amidine	8,9 ;	
Ligneux amilacé.	10,3.	
Ligneux mêlé de charbon		quantité impondérable.
Amidon non décomposé.	4,0.	
	93,6.	

palement à la fixation des élémens de l'eau dans la graisse.

100 parties de graisse de porc lavée et filtrée m'ont fourni par leur combustion dans du gaz oxigène (*),

Carbone ,	78,843 ;
Hydrogène ,	12,182 ;
Oxigène ,	8,502 ;
Azote ,	0,473.
	100,000.

100 parties de la même graisse saponifiée ou précipitée de son savon de potasse par l'acide muriatique contiennent :

Carbone ,	75,747 ;
Hydrogène ,	11,615 ;
Oxigène ,	12,325 ;
Azote ,	0,313.
	100,000.

Le gaz oxigène consumé et le gaz acide carbonique produit par la combustion de la graisse, avant et après sa saponi-

(*) Cette analyse ne s'accorde pas avec celle que Bérard a faite de la même substance en la traitant par l'oxide de cuivre. Ses résultats, ainsi qu'un grand nombre de ceux obtenus par ce procédé, m'ont paru pécher par excès d'hydrogène. (*Ann. de Chim. et de Phys.* V.)

100 parties d'amidon de froment ont fourni, par leur fermentation avec le contact de l'air et dans des circonstances d'ailleurs égales :

Sucre	49,7 ;
Gomme	9,7 ;
Amidine.	5,2 ;
Ligneux amilacé.	9,2 ;
Ligneux mêlé de charbon.	0,3 ;
Amidon non décomposé. .	3,8.
	77.9.

Les produits avec le contact de l'air étaient tous plus foncés en couleur.

J'ai répété les deux dernières expériences avec de l'amidon de pomme de terre que j'ai extrait avec beaucoup de soin. Il n'abandonnait rien de soluble à l'eau

---

fication, sont presque dans le même rapport, savoir : comme 100:71,5 dans la première analyse ; et comme 100:72,7 dans la seconde. Il en résulte qu'on pourrait presque considérer ces deux espèces de graisse comme ayant la même base unie à différentes quantités d'eau, quoique ce ne soit point là probablement le véritable mode de leur composition.

Les expériences de M. Chevreul que j'ai vérifiées ne sont pas opposées à cette explication, en indiquant qu'il y a augmentation de poids dans le produit de l'opération. 100 parties de graisse de porc fournissent, suivant ce chimiste, 94 ou 95 de graisse saponifiée, et environ 9 de principe doux, sans compter la perte qui a lieu dans la manipulation : ces produits paraissent donc surpasser le poids de la graisse qui les a fournis.

froide. Cet amidon, qui, suivant M. Kirchoff, est toujours dépourvu de principe glutineux, diffère à quelques égards de l'amidon de froment : le premier est plus friable; il est composé de grains ovoïdes environ deux fois plus gros; il exige une température un peu moins élevée pour se réduire en gelée avec l'eau; il peut se dissoudre dans des lessives de potasse plus délayées; il se décompose moins promptement par la fermentation spontanée; il contient plus d'eau hygrométrique. 100 parties de cet amidon séché à 22° et 88° de l'hygrom. à cheveu ont perdu, par le dessèchement à la température de l'eau bouillante, 16,41 d'eau, tandis que l'amidon de froment a perdu par le même procédé 13,66.

Les résultats suivans ont été obtenus à une époque différente de la précédente, mais dans des circonstances presque semblables, c'est-à-dire, à une température de 22 à 25 degrés. J'ai mastiqué seulement à la bouteille où se faisait la fermentation sans le contact de l'air, un tube recourbé pour recueillir sur le mercure le gaz qui se dégageait. 30 grammes de cet amidon réduit à l'état d'empois avec 360 grammes d'eau ont dégagé, dans quarante-deux jours, 26 centimètres cubes de fluide aériforme, qui était composé en volume de 80 parties de gaz hydrogène presque pur (1) et de 16 parties de gaz acide

---

(1) On peut être surpris que le gaz hydrogène formé par la décomposition spontanée de l'empois d'amidon soit du gaz hydrogène pur, et non point un gaz hydrogène carburé semblable à celui des marais; mais toutes les substances végétales que j'ai fait fermenter par un procédé analogue à celui qui a été employé pour l'empois ont dégagé du gaz hydro-

carbonique. Quoique ce dernier paraisse le moins abondant, il n'est pas douteux qu'il n'ait été produit en quantité environ quatre fois plus grande que le gaz hydrogène, parce que le volume du liquide, qui était presque quatre fois plus grand que le gaz dégagé, a retenu le gaz acide carbonique dont je n'ai pas tenu compte, et a émis, au contraire, presque tout le gaz hydrogène.

Par la fermentation *en contact* avec l'air, l'amidon de pomme de terre a diminué de poids en raison de 100:77,7 avec des dessèchemens à la température atmosphérique,

---

gène pur ou presque pur, abstraction faite du gaz acide carbonique qui y était mêlé, et de la faculté qu'avaient quelques-unes d'entre elles de ne dégager que ce dernier.

2,85 grammes de gluten frais qui contenait 0,37 de son poids d'eau, et auquel j'ai ajouté 16 grammes de ce liquide, ont dégagé, dans cinq semaines, après avoir été placés sous un récipient renversé plein de mercure, 80 centim. cubes de gaz, sans y comprendre celui que l'eau a retenu. Les 80 étaient composés de 60 de gaz acide carbonique et de 20 de gaz hydrogène qui n'a pas formé une quantité notable de gaz acide carbonique par sa combustion.

Le froment, dans une fermentation semblable, n'a dégagé que du gaz acide carbonique, sans mélange de gaz hydrogène.

3 grammes de graines de pois sèches auxquelles j'ai ajouté 12 grammes d'eau ont dégagé, dans trois semaines, par un procédé semblable, 117 centimètres cubes de gaz qui contenait 88 de gaz acide carbonique et 29 de gaz hydrogène.

J'ai répété ces expériences sur une livre de pois, en les enfermant sous un récipient plein d'eau, renversé sur ce liquide en contact avec l'air. La pesanteur spécifique du gaz

et en raison de 100:85,3 par des dessèchemens à la température de l'eau bouillante.

Le poids de l'amidon altéré *sans* le contact de l'air, avec des dessèchemens à la température de l'eau bouillante, était précisément égal au poids du même amidon avant sa fermentation, en ne tenant pas compte de la perte de poids qu'il a subie par le dégagement du gaz acide carbonique, ni de celle qu'il a éprouvée après cette fermentation par sa décomposition au contact de l'air pendant le dessèchement. L'amidon a paru avoir diminué de poids dans le rapport de 100:94 avec des dessèchemens à 22°; mais ce changement n'était dû qu'à la différente faculté hygrométrique de cette substance avant et après son altération. Dans ce dernier état, 100 d'ami-

---

hydrogène dégagé, abstraction faite du gaz azote qui le souillait, était 0,0883. 100 parties de cet air inflammable que j'ai pu analyser plus en grand que les précédens, ont consumé 55,45 de gaz oxigène, en formant 2,64 de gaz acide carbonique.

Ces expériences ont été faites avec quelques autres graines; et celles qui ont produit du gaz hydrogène l'ont toujours dégagé pur ou presque pur, mais mêlé avec du gaz acide carbonique dans une proportion qui n'a souffert que peu de variations, c'est-à-dire, environ dans le rapport de 1:4, en y comprenant le gaz acide que l'eau a retenu; tel était aussi le mélange de gaz que l'amidon et le gluten ont fourni.

La formation d'un gaz hydrogène aussi pur par la fermentation n'avait pas été observée : elle conduit à chercher la raison pour laquelle la fermentation des marais produit un gaz inflammable aussi différent du précédent.

don perdaient 10,6 d'eau à 100°; tandis que cette perte montait à 16,41 avant la fermentation.

100 d'amidon de pomme de terre séché à 22° ont laissé par la fermentation spontanée, pendant quarante-deux jours, sans le contact de l'air, un résidu qui a fourni, après son dessèchement à la même température :

Sucre.	35,4 ;
Gomme.	17,5 ;
Amidine.	18,7 ;
Ligneux amilacé	7,0 ;
Ligneux mêlé de charbon, quantité impondérable. .	»
Amidon non décomposé. . .	9,4.
	88,0.
Perte dans l'analyse.	6.
	94,0.

100 d'amidon de pomme de terre ont fourni par leur fermentation avec le contact de l'air, et dans des circonstances d'ailleurs égales :

Sucre.	30,4 ;
Gomme.	17,2 ;
Amidine	17,0 ;
Ligneux amilacé	4,4 ;
Ligneux mêlé de charbon. .	0,2 ;
Amidon non décomposé . .	9,3.
	78,5.

Les principaux résultats que je déduis de ces expériences sont : 1° que l'air n'a aucune influence sur la

formation du sucre dans la décomposition spontanée de l'amidon; 2° que la fermentation sans le contact de l'air diffère de celle qui s'opère avec ce contact, en ce que, dans cette dernière, l'amidon perd sous forme d'eau une grande proportion de son oxigène et de son hydrogène; tandis que, dans la fermentation sans le contact de l'air, l'amidon, bien loin de perdre de l'eau, paraît s'approprier, au contraire, une petite quantité des élémens de ce liquide (1).

Pour comparer la fermentation spontanée de l'amidon avec le procédé par lequel M. Kirchoff a produit du sucre dans l'espace de dix ou douze heures, en mêlant du gluten sec pulvérisé avec une double quantité d'amidon qu'on réduit à l'état d'empois, et en les exposant à une température de 50 à 60°, j'ai divisé ce mélange en trois parties égales, qui ont été chauffées (avec le degré et le temps prescrits) au même bain-marie, dans trois vases différens. Le premier d'entre eux était plein et exactement fermé; le second était ouvert, évasé et en libre contact avec l'air; le troisième était un ballon fermé plein d'air, dont l'empois n'occupait que la cinquantième partie.

Le poids du produit de ces opérations, même de celles qui avaient été faites avec le contact de l'air, était égal aux poids du gluten et de l'amidon avant leur mélange,

(1) Le sucre obtenu dans les expériences où la fermentation de l'amidon de froment et de pomme de terre n'a duré que cinq ou six semaines, n'a point pu cristalliser. Il n'en était pas de même lorsque les fermentations ont été beaucoup plus prolongées.

ou du moins il ne leur était inférieur que d'un quatre millième, en faisant les dessèchemens à la température de l'eau bouillante.

10 grammes d'amidon ont produit, dans le ballon fermé et plein d'air, 50 centimètres cubes de gaz acide carbonique à la formation duquel cet air n'avait eu aucune part; car, après son mélange avec la potasse, il contenait la même proportion de gaz oxigène qu'avant l'expérience.

Il s'est formé dans les trois vases, à très-peu près, la même quantité de sucre, c'est-à-dire, environ la septième partie de l'amidon employé. Les petites différences entre les résultats, et qui pouvaient être accidentelles, se trouvaient en faveur de l'exclusion de l'air pour la production du sucre. La matière sucrée bien purifiée et obtenue par les procédés du gluten diffère du sucre qu'on obtient de l'amidon fermenté sans mélange étranger;

1°. En étant beaucoup moins soluble dans l'alcool aqueux. 100 parties de cette liqueur à 35° de l'aréomètre de Baumé n'en ont pu dissoudre que 2,85 parties à une température de 22°;

2°. En ce qu'elle forme avec dix fois son poids d'eau une dissolution où la décoction de noix de galle produit un précipité blanc très-abondant, et dont on ne voit aucun vestige avec les dissolutions des autres sucres.

La gomme obtenue par le procédé décrit précédemment équivalait à la quinzième partie de l'amidon employé; elle différait de celle de l'amidon fermenté, 1° en formant une dissolution aqueuse qui, en opposition avec le résultat de M. Kirchoff, était abondamment troublée par la décoction de noix de galle; 2° en colorant en bleu

la solution aqueuse d'iode qui y manifestait ainsi la présence de l'amidine ou de l'amidon.

Après avoir extrait par l'eau froide les principes gommeux et sucrés, j'ai essayé inutilement de séparer par l'eau bouillante l'amidine du résidu de l'opération; il se réduisait par ce traitement en une colle qui ne transmettait rien par les filtres. La matière, inattaquable par l'eau froide, se dissolvait en partie dans l'acide sulfurique délayé. Le résidu indissous était un mélange de gluten et de ligneux amilacé. Ce dernier se séparait dans la liqueur par sa différente densité; il ne donnait, par sa blancheur, aucun indice de matière charbonneuse, et il se dissolvait en entier dans des lessives de potasse très-étendues. Quoique l'on reconnût dans ces produits tous ceux de la fermentation de l'amidon seul, il était impossible de les extraire dans leur état de pureté à cause de l'intervention de la matière glutineuse qui les faisait adhérer les uns aux autres.

Il se forme dans cette opération, suivant l'observation de M. Kirchoff, un acide que la liqueur retient après l'ébullition. Ce produit est dû au gluten qui le dégage par sa fermentation, sans le secours de l'amidon. L'absence de cet acide, dans la fermentation de l'amidon pur, montre que la formation du sucre par les procédés antérieurs n'a pas été due à la présence accidentelle du gluten.

Malgré ces différences, la décomposition spontanée de l'amidon seul sans le contact de l'air, et celle qui s'opère par l'intermède du gluten, ont, dans leurs résultats généraux, plusieurs caractères semblables très-frappans. Il y a production de matière sucrée, de gomme, de ligneux

amilacé, et probablement d'amidine. Il y a dégagement de gaz acide carbonique. Il n'y a point de précipitation de charbon et point d'eau formée ou de perte de poids dans le produit sec de l'opération. On peut en conclure que le gluten en s'unissant à l'amidon ne fait qu'accélérer une fermentation que ce dernier aurait subie par lui-même sans cette influence, qui modifie légèrement les produits de l'opération.

M. Kirchoff a trouvé (1) que quelques acides différens de l'acide sulfurique convertissaient l'amidon en sucre. Pour connaître si le gaz acide carbonique qui se forme par la fermentation de l'amidon avait été la cause de la production du sucre dans mes expériences, j'ai introduit dans un grand ballon de verre de l'empois d'amidon de froment, dont il n'occupait que la cinquantième partie, et après y avoir fait le vide par la pompe pneumatique, je l'ai rempli avec du gaz acide carbonique pur. Ce ballon, fermé par un robinet, a été exposé pendant quarante jours dans un lieu où la température s'est maintenue entre 22 et 25°. L'amidon n'a presque pas été décomposé; car 100 parties ont fourni par cette opération :

Sucre	1;
Gomme	0,36;
Amidine mêlée d'amidon.	1.

Les 0,98 de l'amidon ne paraissaient avoir subi aucune altération. Le gaz acide carbonique met donc obstacle à

(1) *Journal de Physique*, par de La Métherie, t. LXXIV.

la fermentation de l'amidon et à la formation de tous les produits dont j'ai parlé.

Résumé des principales observations contenues dans ce Mémoire.

L'amidon réduit par l'eau à l'état d'empois, et abandonné à sa décomposition spontanée, à une température entre 20 et 25 degrés, produit soit avec le contact de l'air, soit sans cette influence,

1°. Une espèce de sucre semblable à celle qu'on obtient de la même fécule par l'intervention de l'acide sulfurique délayé et d'une plus haute température.

2°. Une espèce de gomme qui a un grand rapport avec le principe gommeux de l'amidon torréfié.

3°. Une matière que j'ai désignée sous le nom d'*amidine*, et dont les propriétés sont intermédiaires entre celles de l'amidon et de la gomme précédente.

4°. Une substance qui s'approche du ligneux par son insolubilité dans l'eau bouillante et dans plusieurs acides ; mais elle tient de la nature amilacée en colorant en pourpre la solution aqueuse d'iode.

La décomposition spontanée de l'amidon fournit encore d'autres produits ; mais leur présence et le mode de leur formation sont subordonnés à l'action ou à l'absence de l'air atmosphérique pendant la fermentation.

Lorsque cette décomposition se fait *avec* le contact de l'air, l'amidon produit une grande quantité d'eau dans laquelle le gaz oxigène atmosphérique n'entre point comme principe constituant. Il se forme du gaz acide carbonique dont l'oxigène appartient à l'air atmosphé-

rique. L'amidon dépose encore, dans cette circonstance, du charbon qu'on ne sépare qu'imparfaitement, et qui rembrunit tous les produits de l'opération. Le gaz oxigène n'est point absorbé dans cette fermentation qu'en tant qu'il forme le gaz acide carbonique dont je viens de parler. Le poids du résidu sec de la décomposition de l'amidon avec le contact de l'air pèse moins que l'amidon employé. La soustraction du carbone par l'air n'entre que pour très-peu dans ce déchet, qui est dû presque uniquement à l'eau formée par l'amidon, et qui se volatilise.

Lorsque la décomposition spontanée s'opère *sans* le contact de l'air, l'amidon ne produit point d'eau, il dégage une petite quantité de gaz acide carbonique et du gaz hydrogène pur ou presque pur. Il ne dépose point de charbon. Le poids du résidu de cette fermentation après le dessèchement à la température de l'eau bouillante s'est trouvé, dans mes expériences, égal au poids de l'amidon employé à la même température; mais comme je n'ai tenu compte ni de la perte qu'il a subie par le dégagement du gaz acide carbonique, ni de celle qu'il a éprouvée par sa décomposition dans un long dessèchement avec le contact de l'air, il me paraît probable que l'amidon dans sa fermentation sans ce contact, fixe ou s'approprie en petite quantité les élémens de l'eau.

Mes expériences sans l'influence de l'air n'ont été ni assez prolongées ni assez multipliées pour indiquer si sa présence augmente la quantité du sucre; leurs résultats à cet égard ont varié. Il est probable que l'air la diminue en détruisant tous les produits de l'opération.

La conversion de l'amidon en sucre par l'intervention du gluten, dans l'espace de quelques heures, et par une

température élevée, fournit des produits sucrés et gommeux qui diffèrent des substances obtenues dans l'opération précédente, en ce qu'ils donnent avec l'eau des dissolutions où la décoction de noix de galle indique la présence de la matière glutineuse par des précipités abondans. Ce principe donne au produit sucré d'autres propriétés distinctives très-saillantes. Il s'engendre de plus dans l'empois mêlé de gluten un acide qui ne se manifeste point dans la fermentation de l'amidon seul, et qui paraît dû exclusivement à la fermentation du gluten. D'ailleurs, la décomposition spontanée de l'amidon sans le contact de l'air, et celle qui s'opère par l'intermède de la matière glutineuse, ont, en général, des caractères semblables. Le gluten, en s'unissant à l'amidon, ne paraît qu'accélérer une décomposition que celui-ci aurait subie plus tard sans cette influence.

Fourcroy a désigné quelques opérations chimiques dans lesquelles il se produit du sucre, sous le nom de *fermentation saccharine*. Il avait principalement fondé cette distinction sur le goût sucré que prennent plusieurs fruits par la coction, et sur la formation du sucre dans l'acte même de la végétation et de l'animalisation; mais le premier résultat, celui de la saveur, était trop indéterminé; et le second ne s'adaptait pas au nom de *fermentation*, qui suppose l'acte d'un mouvement spontané et intestin dans des substances végétales ou animales désorganisées et privées de vie : aussi cette désignation n'a-t-elle pas été adoptée. Mais puisque nous voyons par des effets précis que la formation du sucre a lieu dans le sens le plus strict attaché au mot de *fermentation*, il convient de distinguer cette dernière, et de la

faire précéder toutes les autres, en lui conservant le nom de *fermentation saccharine*. (Extrait des *Transactions philosophiques.*)

Genève, le 7 octobre 1818.

SUR *les Gymnotes et autres poissons électriques* (1).

PAR M. ALEX. DE HUMBOLDT.

OCCUPÉ journellement, depuis un grand nombre d'années, des phénomènes de l'électricité galvanique; livré à cet enthousiasme qui excite à chercher, mais empêche de bien voir ce que l'on a découvert; ayant construit, sans m'en douter, de véritables *piles*, en plaçant des disques métalliques les uns sur les autres, et en les faisant alterner avec des morceaux de chair musculaire ou avec

(1) Cet article est tiré textuellement de la *Relation historique du Voyage de M.* de Humboldt, dont le tome II, 1re partie, vient de paraître chez *Maze*, libraire, rue Gît-le-Cœur, n° 4. Nous nous proposons de réunir cette dernière partie à celles qui précèdent, et d'en donner prochainement un extrait détaillé. Nos lecteurs s'étonneront, peut-être, que nous ayons tant tardé à leur faire connaître un ouvrage de cette importance : mais nous répondrons que nous avons jusqu'ici été arrêtés par la difficulté de renfermer dans les bornes qui nous sont prescrites, même un simple aperçu des nouvelles observations de géologie, de physique générale, de météorologie et d'astronomie qu'on rencontre à chaque page de la *relation historique*. Si nous ne pouvons pas nous flatter d'avoir entièrement surmonté cet obstacle, on verra du moins, dans notre extrait, que nous l'avons évité autant que possible, en réunissant dans des groupes séparés et distincts toutes les observations de même espèce.

d'autres substances humides (1), j'étais impatient, dès mon arrivée à Cumana, de me procurer des anguilles électriques. On nous en avait promis souvent, et toujours on avait trompé nos espérances. L'argent perd de son prix à mesure qu'on s'éloigne des côtes; et comment vaincre le flegme imperturbable du peuple lorsque le desir du gain ne l'excite point?

Les Espagnols confondent, sous le nom de *tembladores* (*qui font trembler*, proprement *trembleurs*), tous les poissons électriques. Il y en a dans la mer des Antilles, sur les côtes de Cumana. Les Indiens de Guayqueries, qui sont les pêcheurs les plus habiles et les plus industrieux de ces parages, nous apportèrent un poisson qui, à ce qu'ils disaient, leur engourdissait les mains. Ce poisson remonte la petite rivière du Manzanares. C'était une nouvelle espèce de raie dont les taches latérales sont peu visibles, et qui ressemble assez à la torpille de Galvani. Les torpilles, pourvues d'un organe électrique qui est visible au dehors à cause de la transparence de la peau, forment un genre ou sous-genre différent des raies proprement dites (2). La torpille de Cu-

---

(1) *Voyez* mes *Expériences sur la fibre irritable*, t. I, pag. 74, tab. III, IV, V de l'édition allemande.

(2) (Cuvier, *Règne animal*, t. II, p. 136.) La Méditerranée a, d'après M. Risso, quatre espèces de torpilles électriques, qui jadis étaient toutes confondues sous le nom de *raia torpedo*, savoir : *torpedo narke*, *T. unimaculata*, *T. galvanii* et *T. marmorata*. La torpille du cap de Bonne-Espérance, sur laquelle M. Todd a fait récemment des expériences, est sans doute une espèce non décrite.

mana était très-vive, très-énergique dans ses mouvemens musculaires, et cependant les commotions électriques qu'elle nous donnait étaient infiniment faibles. Elles devinrent plus fortes en *galvanisant* l'animal par le contact du zinc et de l'or. D'autres *tembladores*, de véritables gymnotes, ou anguilles électriques, habitent le Rio-Colorado, le Guarapiche, et plusieurs petits ruisseaux qui traversent les missions des Indes Chaymas. Ils abordent de même dans les grands fleuves de l'Amérique, l'Orénoque, l'Amazone et le Meta; mais la force du courant et la profondeur des eaux empêchent les Indiens de les prendre. Ils voient ces poissons moins souvent qu'ils n'en sentent les commotions électriques, en nageant ou en se baignant dans la rivière. C'est dans le *Llanos*, surtout dans les environs de Calabozo, entre les métairies du Morichal et les missions de *Arriba* et de *Abaxo*, que les bassins d'eau stagnante et les affluens de l'Orénoque (le Rio-Guarico, les *Caños* du Rastro, de Berito et de la Paloma) sont remplis de gymnotes. Nous desirions d'abord faire nos expériences dans la maison même que nous habitions à Calabozo; mais la crainte des commotions électriques du gymnote est si grande et si exagérée parmi le peuple, que pendant trois jours nous ne pûmes nous en procurer, quoique la pêche en soit très-facile, et que nous eussions promis aux Indiens deux piastres pour chaque poisson bien grand et bien vigoureux. Cette crainte des Indiens est d'autant plus extraordinaire, qu'ils ne tentent pas d'employer un moyen dans lequel ils assurent avoir beaucoup de confiance. Ils ne manquent jamais de dire aux blancs, lorsqu'on les interroge sur l'effet des *tembladores*, qu'on

peut les toucher impunément lorsqu'on mâche du tabac. Cette fable de l'influence du tabac sur l'électricité animale est aussi répandue sur le continent de l'Amérique méridionale, que l'est, parmi les matelots, la croyance de l'effet de l'ail et du suif sur l'aiguille aimantée.

Impatientés par une longue attente, et n'obtenant que des résultats très-incertains sur un gymnote vivant, mais très-affaibli, qu'on nous avait apporté, nous nous rendîmes au Caño de Bera pour faire nos expériences en plein air, au bord de l'eau même. Nous partîmes, le 19 mars, de grand matin, pour le petit village de *Rastro de Abaxo :* de là, les Indiens nous conduisirent à un ruisseau qui, dans le temps des sécheresses, forme un bassin d'eau bourbeuse entouré de beaux arbres (1), de clusia, d'amyris et de mimoses à fleurs odoriférantes. La pêche des gymnotes avec des filets est très-difficile, à cause de l'extrême agilité de ces poissons, qui s'enfoncent dans la vase comme des serpens. On ne voulut point employer le *barbasco*, c'est-à-dire, les racines du *piscidia erithryna*, du *jacquinia armillaris* et de quelques espèces de *phyllanthus* qui, jetées dans une mare, enivrent ou engourdissent les animaux : ce moyen aurait affaibli les gymnotes. Les Indiens nous disaient qu'ils allaient *pécher avec des chevaux*, *embarbascas con cavallos* (2). Nous eûmes de la peine à nous faire une idée de cette pêche extraordinaire; mais bientôt nous

---

(1) Amyris *lateriflora*, A. *coriacea*, Laurus *Pichurin*, Myroxilon *secundum*, Malpighia *reticulata*.

(2) Proprement *endormir* ou *enivrer* les poissons par le moyen des chevaux.

vîmes nos guides revenir de la savane, où ils avaient fait une battue de chevaux et de mulets non domptés. Ils en amenèrent une trentaine qu'on força d'entrer dans la mare.

Le bruit extraordinaire causé par le piétinement des chevaux, fait sortir les poissons de la vase et les excite au combat. Ces anguilles jaunâtres et livides, semblables à de grands serpens aquatiques, nagent à la surface de l'eau, et se pressent sous le ventre des chevaux et des mulets. Une lutte entre des animaux d'une organisation si différente offre le spectacle le plus pittoresque. Les Indiens, munis de harpons et de roseaux longs et minces, ceignent étroitement la mare; quelques-uns d'entre eux montent sur les arbres, dont les branches s'étendent horizontalement au-dessus de la surface de l'eau. Par leurs cris sauvages et la longueur de leurs joncs, ils empêchent les chevaux de se sauver, en atteignant la rive du bassin. Les anguilles, étourdies du bruit, se défendent par la décharge réitérée de leurs batteries électriques. Pendant long-temps elles ont l'air de remporter la victoire. Plusieurs chevaux succombent à la violence des coups invisibles qu'ils reçoivent de toute part dans les organes les plus essentiels à la vie; étourdis par la force et la fréquence des commotions, ils disparaissent sous l'eau. D'autres, haletant, la crinière hérissée, les yeux hagards, et exprimant l'angoisse, se relèvent et cherchent à fuir l'orage qui les surprend. Ils sont repoussés par les Indiens au milieu de l'eau : cependant un petit nombre parvient à tromper l'active vigilance des pêcheurs. On les voit gagner la rive, broncher à chaque pas, s'étendre dans le sable excédés de fatigue et les membres en-

gourdis par les commotions électriques des gymnotes.

En moins de cinq minutes, deux chevaux étaient noyés. L'anguille, ayant cinq pieds de long et se pressant contre le ventre des chevaux, fait une décharge de toute l'étendue de son organe électrique. Elle attaque à-la-fois le cœur, les viscères et le *plexus cœliacus* des nerfs abdominaux. Il est naturel que l'effet qu'éprouvent les chevaux soit plus puissant que celui que le même poisson produit sur l'homme lorsqu'il ne le touche que par une des extrémités. Les chevaux ne sont probablement pas tués, mais simplement étourdis. Ils se noient, étant dans l'impossibilité de se relever, par la lutte prolongée entre les autres chevaux et les gymnotes.

Nous ne doutions pas que la pêche ne se terminât par la mort successive des animaux qu'on y emploie; mais peu à peu l'impétuosité de ce combat inégal diminue; les gymnotes, fatigués, se dispersent. Ils ont besoin d'un long repos (1) et d'une nourriture abondante pour réparer ce qu'ils ont perdu de force galvanique. Les mulets et les chevaux parurent moins effrayés; ils ne

---

(1) Les Indiens assurent que, si l'on fait courir les chevaux, deux jours de suite, dans une mare remplie de gymnotes, aucun cheval n'est tué le second jour. *Voyez*, sur la pêche des gymnotes et sur le détail des expériences faites à Calabozo, un Mémoire particulier que j'ai publié dans mes *Observations de Zoologie*, t. I, p. 59-92; et mes *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 53-57. J'ai pu ajouter ici des considérations nouvelles, fondées sur une connaissance plus intime de l'action des appareils électro-moteurs.

hérissaient plus la crinière; leurs yeux exprimaient moins l'épouvante. Les gymnotes s'approchaient timidement du bord des marais, où on les prit au moyen de petits harpons attachés à de longues cordes. Lorsque les cordes sont bien sèches, les Indiens, en soulevant le poisson dans l'air, ne ressentent point de commotions. En peu de minutes nous eûmes cinq grandes anguilles, dont la plupart n'étaient que légèrement blessées. D'autres furent prises vers le soir par les mêmes moyens.

La température des eaux dans lesquelles vivent habituellement les gymnotes est de 26° à 27°. On assure que leur force électrique diminue dans les eaux plus froides; et il est assez remarquable, en général, comme l'a déjà observé un physicien célèbre, que les animaux doués d'organes électro-moteurs, dont les effets deviennent sensibles à l'homme, ne se rencontrent pas dans l'air, mais dans un fluide conducteur de l'électricité. Le gymnote est le plus grand des poissons électriques; j'en ai mesuré qui avaient de cinq pieds à cinq pieds trois pouces de long. Les Indiens assuraient en avoir vu de plus grands encore. Nous avons trouvé qu'un poisson qui avait trois pieds dix pouces de long pesait douze livres. Le diamètre transversal du corps était (sans compter la nageoire anale, qui est prolongée en forme de carène) de trois pouces cinq lignes. Les gymnotes du *Caño* de Bera sont d'un beau vert d'olive. Le dessous de la tête est jaune, mêlé de rouge. Deux rangées de petites taches jaunes sont placées symétriquement le long du dos, depuis la tête jusqu'au bout de la queue. Chaque tache renferme une ouverture excrétoire : aussi la peau de

l'animal est-elle constamment couverte d'une matière muqueuse qui, comme Volta l'a prouvé, conduit l'électricité vingt à trente fois mieux que l'eau pure. Il est, en général, assez remarquable qu'aucun des poissons électriques découverts jusqu'ici (1) dans les différentes parties du monde, ne soit couvert d'écailles.

Le gymnote, comme nos anguilles, se plaît à avaler et à respirer de l'air à la surface de l'eau. Il ne faut pas en conclure, avec M. Bajon, que le poisson périrait s'il ne pouvait venir respirer l'air. Nos anguilles se promènent une partie de la nuit dans l'herbe, tandis que j'ai vu

(1) On ne connaît encore avec quelque certitude que sept poissons électriques : *torpedo narke Risso*, *T. unimaculata*, *T. marmorata*, *T. galvanii*, *silurus electricus*, *tetraodon electricus*, *gymnotus electricus*. Il paraît incertain si le *trichiurus indicus* a des propriétés électriques. (Cuvier, *Règne animal*, t. II, p. 247.) Mais le genre *torpedo*, très-différent de celui des *raies* proprement dites, a de nombreuses espèces dans les mers équatoriales, et il est probable qu'il existe plusieurs gymnotes spécifiquement différens. Les Indiens nous ont parlé d'une espèce très-noire et très-énergique qui habite les marécages de l'Apure, et qui n'atteint jamais plus de deux pieds de longueur : nous n'avons pas pu nous la procurer. Le *raton* du Rio de la Magdalena, que j'ai décrit sous le nom de *gymnotos æquilabiatus* (*Observ. de Zool.*, t. I, pl. x, fig. 1) forme un sous-genre particulier. C'est un carape non écailleux, sans organe électrique. Cet organe manque aussi entièrement aux carapo du Brésil et à toutes les raies que M. Cuvier a bien voulu examiner de nouveau, à ma prière.

mourir à sec un gymnote très-vigoureux qui s'était élancé hors du baquet. Nous avons prouvé, M. Provençal et moi, par notre travail sur la respiration des poissons, que leurs branchies humides peuvent servir à la double fonction de décomposer l'air atmosphérique, et de s'approprier l'oxigène dissous dans l'eau. Ils ne suspendent pas leur respiration dans l'air; mais ils absorbent l'oxigène gazeux, comme fait un reptile muni de poumons. Il est connu qu'on engraisse des carpes en les nourrissant hors de l'eau, et en leur mouillant de temps en temps les ouïes avec de la mousse humide, pour empêcher qu'elles ne se dessèchent. Les poissons écartent leurs opercules dans le gaz oxigène plus que dans l'eau. Cependant leur température ne s'élève pas, et ils vivent également longtemps dans l'air vital et dans un mélange de 90 parties d'azote et de 10 d'oxigène. Nous avons trouvé que des tanches (*cyprinus tinca*) placées sous des cloches remplies d'air absorbent, dans une heure de temps, un demi-centimètre cube d'oxigène. Cette action a lieu dans les ouïes seules; car les poissons auxquels on adapte des colliers de liége, et dont la tête reste hors du bocal rempli d'air, n'agissent pas sur l'oxigène (1) par le reste de leur corps.

La vessie natatoire du gymnote (2), dont M. Bloch a nié l'existence, a deux pieds cinq pouces de long dans

---

(1) *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. II, p. 398. La respiration dans l'air se fait-elle par l'intermède d'une lame d'eau infiniment mince qui humecte les ouïes?

(2) M. Cuvier m'a fait voir, depuis mon retour en Europe, qu'il existe dans le *gymnotus electricus*, outre la grande

un individu de trois pieds dix pouces. Elle est séparée de la peau extérieure par une masse de graisse, et repose sur les organes électriques qui remplissent plus de deux tiers de l'animal. Les mêmes vaisseaux qui s'insinuent entre les lames ou feuillets de ces organes, et qui les couvrent de sang lorsqu'on les coupe transversalement, donnent aussi de nombreux rameaux à la surface extérieure de la vessie. J'ai trouvé, dans 100 parties de l'air de la vessie natatoire, 4 d'oxigène et 96 d'azote. La substance médullaire du cerveau n'offre qu'une faible analogie avec la matière albumineuse et gélatineuse des organes électriques; mais ces deux substances ont de commun la grande quantité de sang artériel qu'elles reçoivent, et qui s'y désoxide. Nous remarquons de nouveau, à cette occasion, qu'une extrême activité dans les fonctions du cerveau fait refluer plus abondamment le sang vers la tête, comme l'énergie du mouvement des muscles accélère la désoxidation du sang artériel. Quel contraste entre la multitude et le diamètre des vaisseaux sanguins du gymnote, et le petit volume qu'occupe son système musculaire! Ce contraste rappelle à l'observateur que trois fonctions de la vie animale, qui paraissent d'ailleurs assez hétérogènes, les fonctions du cerveau, celles de l'organe électrique et celles des muscles, requièrent toutes l'affluence et le concours du sang artériel ou oxigéné.

---

vessie natatoire, une autre vessie antérieure et plus petite; elle ressemble à la vessie natatoire bicorne que j'ai dessinée dans le *Gymnotus æquilabiatus*.

On ne s'expose pas téméraiement aux premières commotions d'un gymnote très-grand et fortement irrité. Si, par hasard, on reçoit un coup avant que le poisson soit blessé ou fatigué par une longue poursuite, la douleur et l'engourdissement sont si violens, qu'il est impossible de prononcer sur la nature du sentiment qu'on éprouve. Je ne me souviens pas d'avoir jamais reçu, par la décharge d'une grande bouteille de Leyde, une commotion plus effrayante que celle que j'ai ressentie en plaçant imprudemment les deux pieds sur un gymnote que l'on venait de retirer de l'eau. Je fus affecté, le reste du jour, d'une vive douleur dans les genoux et presque dans toutes les jointures. Pour s'assurer de la différence assez marquante qui existe entre la sensation produite par la pile de Volta et les poissons électriques, il faut toucher ces derniers lorsqu'ils sont dans un état de faiblesse extrême : les gymnotes et les torpilles causent alors un tressaillement (1) qui se propage depuis la partie appuyée sur les organes électriques jusqu'au coude. On croit sentir, à chaque coup, une vibration interne qui dure deux à trois secondes, et qui est suivie d'un engourdissement douloureux. Aussi les Indiens Tamanaques, dans leur langue expressive, appellent le *temblador*, *arimna*, c'est-à-dire, *qui prive de mouvement*.

La sensation que causent les faibles émotions d'un gymnote m'a paru très-analogue au tressaillement douloureux dont j'ai été saisi à chaque contact de deux métaux hétérogènes appliqués sur des plaies que je

---

(1) *Subsultus tendinum.*

m'étais faites au dos par le moyen des cantharides (1). Cette différence de sensations entre les effets des poissons électriques et ceux de la pile ou d'une bouteille de Leyde faiblement chargée, a frappé tous les observateurs; elle n'est cependant aucunement contraire à la supposition de l'identité de l'électricité et de l'action galvanique des poissons. L'électricité peut être la même; mais ses effets seront diversement modifiés par la disposition des appareils électriques, par l'intensité du fluide, par la rapidité du courant, par un mode d'action particulier.

Dans la Guyane hollandaise, par exemple, à Démérary, on a employé jadis les gymnotes pour guérir les paralytiques. Dans un temps où les médecins d'Europe avaient une grande confiance dans les effets de l'électricité, un chirurgien d'Essequibo, M. Vanderlott, publia en Hollande un Mémoire *sur les propriétés médicales des gymnotes*. Ces *cures électriques* se retrouvent parmi les sauvages de l'Amérique comme parmi les Grecs. Scribonius Largus, Galien et Dioscoride nous apprennent que les torpilles guérissent les maux de tête, les migraines et la goutte. Je n'ai point entendu parler de ce genre de traitement dans les colonies espagnoles que j'ai parcourues; mais je puis assurer qu'après avoir fait des expériences pendant quatre heures consécutives avec des gymnotes, nous éprouvâmes, M. Bonpland et moi, jusqu'au lendemain, une débilité dans les muscles,

---

(1) *Versuche über die gereizte Muskelfaser*, vol. I, p. 323-329.

une douleur dans les jointures, un malaise général qui était l'effet d'une forte irritation du système nerveux.

Les gymnotes ne sont ni des conducteurs chargés, ni des batteries, ni des appareils électro-moteurs, dont on reçoit la commotion chaque fois qu'on les touche d'une main, ou en appliquant les deux mains pour former l'arc conducteur entre des poles hétérogènes. L'action électrique du poisson dépend uniquement de sa volonté, soit qu'il ne tienne pas toujours chargés ses organes électriques, soit qu'il puisse, par la sécrétion de quelque fluide, ou par un autre moyen également mystérieux pour nous, diriger au dehors l'action de ses organes. On tente souvent, isolé ou non isolé, de toucher le poisson sans sentir la moindre commotion. Lorsque M. Bonpland le tenait par la tête ou le milieu du corps, tandis que je le tenais par la queue, et que, placé sur le sol humide, nous ne nous donnions pas la main, l'un de nous recevait des secousses que l'autre ne sentait pas. Il dépend du gymnote de n'agir que vers le point dans lequel il se croit le plus fortement irrité. La décharge se fait alors par un seul point, et non par le point voisin. De deux personnes qui touchent de leur doigt le ventre du poisson à un pouce de distance, et qui appuient simultanément, c'est tantôt l'une, tantôt l'autre qui reçoit le coup. De même, lorsqu'une personne isolée tient la queue d'un gymnote vigoureux, et qu'une autre le pince aux ouïes et à la nageoire pectorale, c'est souvent la première seule qui éprouve la commotion. Il ne nous a guère paru qu'on pût attribuer ces différences à la sécheresse ou à l'humidité de nos mains, à leur inégale conductibilité. Le gymnote semblait diriger ses coups,

tantôt par toute la surface de son corps, tantôt par une seule partie. Cet effet indique moins une décharge partielle de l'organe composé d'une innombrable quantité de feuillets, que la faculté qu'a l'animal (peut-être par la sécrétion instantanée d'un fluide qui se répand dans le tissu cellulaire) de n'établir la communication de ses organes avec la peau que dans un espace très-limité.

Rien ne prouve plus la faculté qu'a le gymnote (par l'influence du cerveau et des nerfs) de lancer et de diriger son coup à volonté, que les observations faites, à Philadelphie et récemment à Stockholm (1), sur des

---

(1) Par MM. Williamson et Fahlberg. Voici ce que rapporte ce dernier dans une note intéressante publiée dans les *Vetensk. Acad. ny. handl. quart.* 2 (1801), p. 122-156: « Le gymnote qui a été envoyé, de Surinam à Stockholm, à M. Norderling, a vécu plus de quatre mois dans un état de parfaite santé. Il avait 27 pouces de long, et les commotions qu'il donnait étaient si violentes, surtout dans l'air, que je ne trouvais presqu'aucun moyen de m'en préserver par des corps non conducteurs, en transportant le poisson d'un endroit à l'autre. Son estomac était très-petit; il mangeait peu à-la-fois, mais souvent. Il s'approchait des poissons vivans en leur lançant (de loin) un coup dont l'énergie était proportionnée à la grandeur de la proie. Rarement le gymnote se trompait dans *son jugement;* un seul coup était presque toujours suffisant pour vaincre la résistance (les obstacles que les couches d'eau plus ou moins épaisses, selon la distance, opposaient au courant électrique). Lorsqu'il était très-pressé par la faim, il lançait aussi quelquefois des coups

gymnotes extrêmement apprivoisés. Lorsqu'on les avait fait jeûner long-temps, ils tuaient de loin les petits poissons qu'on plaçait dans le baquet. Ils agissaient à distance, c'est-à-dire, leur coup électrique traversait une couche d'eau très-épaisse. Il ne faut pas être surpris qu'on ait pu observer, en Suède, sur un seul gymnote ce que nous n'avons pu voir sur un grand nombre d'individus dans leur pays natal. Comme l'action électrique des animaux est une *action vitale* et soumise à la volonté, elle ne dépend pas uniquement de leur état de santé et de vigueur. Un gymnote qui fait le trajet de Surinam à Philadelphie et à Stockholm s'accoutume à la prison à laquelle il est réduit; il reprend peu à peu, dans le baquet, les mêmes habitudes qu'il avait dans les rivières et dans les mares. On nous porta, à Calabozo, une anguille électrique prise dans un filet, et n'ayant par conséquent aucune blessure. Elle mangea de la viande, et effraya cruellement de petites tortues et des grenouilles qui, ne connaissant pas le danger, voulurent se placer avec confiance sur le dos du poisson. Les grenouilles ne reçurent le coup qu'au moment où elles touchèrent le corps du gymnote. Revenues à elles-mêmes, elles se sauvèrent hors du baquet; et lorsqu'on les replaça près

---

à celui qui journellement lui donnait à manger de la viande cuite ou non assaisonnée. Les personnes affectées de maux rhumatiques venaient le toucher, dans l'espoir de guérir. On le prenait à-la-fois par le cou et la queue; les commotions étaient, dans ce cas, plus fortes que lorsqu'on le touchait d'une seule main. Il perdit presque entièrement sa force électrique peu de temps avant sa mort. »

du poisson, sa seule vue les effraya. Nous n'observâmes alors rien qui indiquât une *action à distance;* mais aussi notre gymnote, nouvellement pris, n'était guère assez apprivoisé pour vouloir attaquer et dévorer des grenouilles. En approchant le doigt ou des pointes métalliques, à une demi-ligne de distance des organes électriques, aucune commotion ne se fit sentir. L'animal ne s'apercevait peut-être pas du voisinage d'un corps étranger, ou, s'il s'en apercevait, il faut croire que la timidité qu'il conserve dans le premier temps de sa captivité le porte à ne lancer des coups énergiques que lorsqu'il se sent fortement irrité par un contact immédiat. Le gymnote étant plongé dans l'eau, j'ai approché la main, armée ou non armée de métal, à peu de lignes de distance des organes électriques; les couches d'eau ne m'ont transmis aucune secousse, tandis que M. Bonpland irritait fortement l'animal par un contact immédiat, et en recevait des coups très-violens. Si j'avais plongé les électroscopes les plus sensibles que nous connaissions, des grenouilles préparées, dans les couches d'eau voisines, elles auraient sans doute éprouvé des contractions au moment où le gymnote semblait diriger son coup autre part. Placées immédiatement sur le corps d'une torpille, les grenouilles préparées ressentent, selon Galvani, de fortes contractions chaque fois que le poisson se décharge.

L'organe électrique des gymnotes n'agit que sous l'influence immédiate du cerveau et du cœur. En coupant un poisson très-vigoureux par le milieu du corps, la partie extérieure seule m'a donné des commotions. Les coups sont également forts dans quelque partie du corps

que l'on touche le poisson : cependant il est plus disposé à les lancer lorsqu'on lui pince la nageoire pectorale, l'organe électrique, les lèvres, les yeux et les ouïes. Quelquefois l'animal se débat fortement contre celui qui le tient par la queue, sans communiquer la moindre commotion. Je n'en éprouvai pas non plus lorsque je fis une légère incision près la nageoire pectorale du poisson, et que je *galvanisai* la plaie par le simple contact de deux armatures de zinc et d'argent. Le gymnote se recourba convulsivement ; il leva sa tête hors de l'eau, comme effrayé par une sensation toute nouvelle ; mais je ne sentis aucun frémissement dans les mains qui tenaient les armatures. Les mouvemens musculaires les plus violens ne sont pas toujours accompagnés de décharges électriques.

L'action du poisson sur les organes de l'homme est transmise et interceptée par les mêmes corps qui transmettent et interceptent le courant électrique d'un conducteur chargé, d'une bouteille de Leyde ou d'une pile de Volta. Quelques anomalies que nous avons cru observer s'expliquent aisément lorsqu'on se rappelle que même les métaux (comme le prouve leur incandescence par la pile) opposent un léger obstacle au passage de l'électricité, et qu'un mauvais conducteur anéantit pour nos organes l'effet d'une électricité faible, tandis qu'il nous transmet l'effet d'une électricité très-forte. La force répulsive qu'exercent entre eux le zinc et l'argent étant de beaucoup supérieure à celle de l'or et de l'argent, j'ai reconnu que, lorsqu'on *galvanise* sous l'eau une grenouille, préparée et armée d'argent, l'arc conducteur de zinc produit des commotions, dès qu'une de ses extré-

mités approche des muscles à trois lignes de distance, tandis qu'un arc d'or n'excite pas les organes dès que la couche d'eau, entre l'or et le muscle, a plus d'une demi-ligne d'épaisseur. De même, en employant un arc conducteur composé de deux morceaux de zinc et d'argent soudés l'un au bout de l'autre, et en appuyant comme auparavant une des extrémités de l'arc métallique sur le nerf ischiatique, il faut, pour produire des contractions, approcher l'autre extrémité de l'arc conducteur de plus en plus près des muscles, à mesure que l'irritabilité des organes diminue. Vers la fin de l'expérience, la plus mince couche d'eau empêche le passage du courant électrique, et ce n'est qu'au contact immédiat de l'arc avec le muscle que les contractions ont lieu. J'insiste sur ces circonstances dépendantes de trois *variables :* de l'énergie de l'appareil électro-moteur, de la conductibilité des milieux, et de l'irritabilité des organes qui reçoivent les impressions. C'est pour n'avoir pas suffisamment multiplié les expériences, selon ces trois élémens variables, qu'on a pris, dans l'action des gymnotes électriques et des torpilles, des conditions accidentelles pour des conditions sans lesquelles des commotions électriques ne se font pas sentir.

Dans des gymnotes blessés, qui donnent des commotions faibles, mais très-égales, ces commotions nous ont paru constamment plus fortes en touchant le corps du poisson d'une main armée de métal que de la main nue. Elles sont plus fortes aussi, lorsqu'au lieu de toucher par une main nue ou non armée d'un métal, on appuie à-la-fois les deux mains nues ou armées. Ces différences, je le répète, ne deviennent sensibles que lorsqu'on a

assez de gymnotes à sa disposition pour pouvoir choisir les plus faibles, et que l'égalité extrême des décharges électriques permet de distinguer entre les sensations qu'on éprouve alternativement par la main nue ou armée d'un métal. C'est aussi seulement dans le cas des petites commotions faibles et uniformes, que les coups sont plus sensibles en touchant le gymnote d'une main (sans former de chaîne) avec du zinc qu'avec du cuivre ou du fer.

Les substances résineuses, le verre, le bois très-sec, la corne, et même les os, que l'on croit généralement bon conducteurs, empêchent l'action des gymnotes d'être transmise à l'homme. J'ai été surpris de ne pas sentir la moindre commotion en pressant contre les organes du poisson des bâtons de cire d'Espagne mouillés, tandis que le même individu me porta les coups les plus violens en l'excitant au moyen d'une tige métallique. M. Bonpland reçut des commotions en portant un gymnote sur deux cordes de fibres de palmier qui nous parurent très-sèches. Une forte décharge se fraie un chemin à travers des conducteurs très-imparfaits. Peut-être aussi l'obstacle qu'oppose l'arc conducteur rend-il l'explosion plus douloureuse. J'ai touché sans effet le gymnote avec un pot d'argile brune humectée, et j'ai reçu de violentes commotions lorsque je portais le gymnote dans ce même pot, parce que le contact était plus grand.

Lorsque deux personnes isolées, ou non isolées, se tiennent par la main, et que seulement une d'elles touche le poisson de la main nue ou armée de métal, les commotions se font le plus souvent sentir aux deux personnes à-la-fois. Il arrive cependant aussi que, dans les coups

les plus douloureux, la personne seule qui entre en contact immédiat avec le poisson éprouve le choc. Quand le gymnote épuisé ou dans un état d'excitabilité très-faible ne veut absolument plus lancer de coups en l'irritant d'une seule main, les commotions se sentent très-vivement en formant la chaîne et en employant les deux mains. Cependant, même dans ce cas, le choc électrique n'a lieu que par la volonté de l'animal. Deux personnes, dont l'une tient la queue et l'autre la tête, ne peuvent pas forcer le gymnote à lancer le coup lorsqu'elles se donnent la main et qu'elles forment une chaîne.

En employant de mille manières des électromètres très-sensibles, en les isolant sur une plaque de verre, et en recevant des commotions très-fortes qui passaient par l'électromètre, je n'ai jamais pu découvrir aucun phénomène d'attraction et de répulsion. La même observation a été faite, à Stockholm, par M. Fahlberg. Ce physicien cependant a vu une étincelle électrique, comme, avant lui, Walsh et Ingenhouss, à Londres, en plaçant le gymnote dans l'air, et en interrompant la chaîne conductrice par deux feuillets d'or collés sur du verre et éloignés d'une ligne. Personne, au contraire, n'a jamais aperçu une étincelle sortant du corps même du poisson. Nous l'avons irrité long-temps de nuit, à Calabozo, dans une parfaite obsurité; mais nous n'avons observé aucun phénomène lumineux. En disposant quatre gymnotes d'une force inégale, de manière que je reçusse les commotions du poisson le plus vigoureux *par communication*, c'est-à-dire, en ne touchant qu'un des autres poissons, je n'ai pas vu ceux-ci s'agiter au moment où le courant passait

par leur corps. Peut-être le courant ne s'établit-il que par la surface humide de leur peau. Nous n'en conclurons pas cependant que les gymnotes sont insensibles à l'électricité, et qu'ils ne peuvent combattre les uns contre les autres au fond des mares. Leur système nerveux doit être soumis aux mêmes agens que les nerfs des autres animaux. J'ai vu, en effet, qu'en mettant les nerfs à nu, ils éprouvent des contractions musculaires au simple contact de deux métaux hétérogènes, et M. Fahlberg, à Stockholm, a trouvé que son gymnote s'agitait convulsivement lorsqu'il était placé dans un baquet de cuivre, et que de faibles décharges d'une bouteille de Leyde traversaient sa peau.

Après les expériences que j'avais faites sur les gymnotes, il était d'un grand intérêt pour moi, à mon retour en Europe, de connaître avec précision les diverses circonstances dans lesquelles un autre poisson électrique, la torpille de nos mers, donne ou ne donne pas de commotion. Quoique ce poisson ait été examiné par un grand nombre de physiciens, j'ai trouvé extrêmement vague tout ce qui a été publié sur ses effets électriques. On a supposé très-arbitrairement qu'elle agit comme une bouteille de Leyde qu'on décharge à volonté, en la touchant des deux mains, et cette supposition paraît avoir induit en erreur les observateurs qui se sont livrés à ce genre de recherches. Pendant notre voyage en Italie, nous avons, M. Gay-Lussac et moi, fait un grand nombre d'expériences sur des torpilles prises dans le golfe de Naples. Ces expériences offrent plusieurs résultats assez différens de ceux que j'ai recueillis sur les gymnotes. Il est probable que la cause de ces anomalies

tient plutôt à l'inégalité du pouvoir électrique dans les deux poissons, qu'à la disposition différente de leurs organes (1).

Quoique la force de la torpille ne soit pas à comparer à celle des gymnotes, elle est suffisante pour causer des sensations très-douloureuses. Une personne accoutumée aux commotions électriques ne tient qu'avec peine entre les mains une torpille de 12 à 14 pouces de long, et qui jouit de toute sa vigueur. Lorsque l'animal ne donne plus que des coups très-faibles sous l'eau, les commotions deviennent plus sensibles si on l'élève au-dessus de la surface de l'eau. J'ai souvent observé ce phénomène en *galvanisant* des grenouilles.

La torpille remue convulsivement les nageoires pectorales chaque fois qu'elle lance le coup, et ce coup est plus ou moins douloureux, selon que le contact immédiat se fait par une surface plus ou moins large. Nous avons observé plus haut que le gymnote donne les commotions les plus fortes sans faire aucun mouvement des yeux, de la tête ou des nageoires (2). Cette différence est-elle causée par la position de l'organe électrique qui n'est pas double dans les gymnotes? ou le mouvement des nageoires pectorales de la torpille prouve-t-il directement que le poisson rétablit l'équilibre électrique par sa propre peau, qu'il se décharge par son propre corps,

---

(1) Geoffroy-de-Saint-Hilaire, dans les *Annales du Muséum*, tom. I, p. 392-407.

(2) Il n'y a que la nageoire anale des gymnotes qui remue sensiblement lorsqu'on excite ces poissons sous le ventre, là où se trouve placé l'organe électrique.

et que nous n'éprouvons généralement que l'effet d'un choc latéral ?

On ne peut décharger à volonté ni une torpille ni un gymnote, comme on décharge à volonté une bouteille de Leyde ou une pile de Volta. On ne sent pas toujours de commotion, même lorsqu'on touche des deux mains un poisson électrique; il faut l'irriter pour qu'il donne la commotion. Cette action, dans les torpilles comme dans les gymnotes, est une action vitale; elle ne dépend que de la volonté de l'animal, qui, peut-être, ne tient pas toujours chargés ses organes électriques, ou qui n'emploie pas toujours l'action de ses nerfs pour établir la chaîne entre les poles positifs et négatifs. Ce qui est certain, c'est que la torpille peut donner avec une célérité étonnante une longue suite de commotions, soit que les lames ou feuillets de ses organes ne soient pas toujours épuisés en entier, soit que le poisson les recharge instantanément.

Le coup électrique se fait sentir quand l'animal est disposé à le lancer, que l'on touche d'un seul doigt une seule surface des organes, ou que l'on applique les deux mains aux deux surfaces, à la supérieure et à l'inférieure à-la-fois. Dans l'un et l'autre cas, il est tout-à-fait indifférent que la personne qui touche le poisson d'un doigt ou des deux mains soit isolée ou qu'elle ne le soit pas. Tout ce qu'on a dit de la nécessité d'une communication par le sol humide pour établir une chaîne, est fondé sur des observations inexactes.

M. Gay-Lussac a fait l'observation importante, que lorsqu'une personne isolée touche la torpille d'un seul doigt, il est indispensable que le contact soit immédiat. On touche impunément le poisson avec une clef ou avec

tout autre instrument métallique, aucune commotion ne se faisant sentir dès qu'un corps conducteur ou non conducteur est interposé entre le doigt et l'organe électrique de la torpille. Cette circonstance offre une grande différence entre la torpille et le gymnote, le dernier lançant ses coups à travers une barre de fer de plusieurs pieds de longueur.

Lorsqu'on place la torpille sur un plateau métallique de très-peu d'épaisseur, de manière que le plateau touche la surface inférieure des organes, la main qui soutient ce plateau ne sent jamais de commotion, quoiqu'une autre personne isolée excite l'animal, et que le mouvement convulsif des nageoires pectorales annonce les décharges les plus fortes et les plus réitérées.

Si, au contraire, une personne tient la torpille placée sur un plateau métallique de la main gauche, comme dans l'expérience précédente, et si cette même personne touche la surface supérieure de l'organe électrique de la main droite, alors une forte commotion se fait sentir dans les deux bras. La sensation qu'on éprouve est la même lorsque le poisson est placé entre deux plateaux métalliques dont les bords ne se touchent pas, et lorsqu'on appuie les deux mains à-la-fois sur ces plateaux. L'interposition d'une lame métallique empêche la communication si on touche cette lame d'une seule main, tandis que l'interposition de deux lames métalliques cesse d'empêcher la commotion dès qu'on applique les deux mains. Dans ce dernier cas, on ne saurait douter que la circulation du fluide s'établit par les deux bras.

Si, dans la même position du poisson entre deux plateaux, il existe quelque communication immédiate entre

les bords des deux plateaux, toute commotion cesse. La chaîne entre les deux surfaces de l'organe électrique est formée alors par les plateaux, et la nouvelle communication que l'on établit par le contact des deux mains avec les deux plateaux reste sans effet. Nous avons porté impunément la torpille entre deux plats de métal, et nous n'avons senti les coups qu'elle lançait qu'au moment où les plats ne se touchaient pas par leurs bords.

Dans la torpille, comme dans le gymnote, rien n'annonce que l'animal modifie la tension électrique des corps qui l'entourent. L'électromètre le plus sensible n'est aucunement affecté, de quelque manière qu'on l'emploie, soit en l'approchant des organes, soit en isolant le poisson, en le couvrant d'un plateau métallique, et en faisant communiquer ce plateau par un fil conducteur avec le condensateur de Volta. Nous avons mis beaucoup de soin à varier ces expériences, par lesquelles on cherche à rendre sensible la tension électrique dans les organes de la torpille. Elles ont toujours été sans effet, et confirment parfaitement ce que nous avions observé, M. Bonpland et moi, sur les gymnotes pendant notre séjour dans l'Amérique méridionale.

Les poissons électriques, lorsqu'ils sont très-vigoureux, agissent avec la même énergie sous l'eau et dans l'air. Cette observation nous a mis à même d'examiner la propriété conductrice de l'eau, et nous avons trouvé que lorsque plusieurs personnes font la chaîne entre la surface supérieure et la surface inférieure des organes de la torpille, la commotion ne se fait sentir que dans le cas où ces personnes se sont mouillé les mains. L'action n'est point interceptée si deux personnes, qui de

eurs mains droites soutiennent la torpille, au lieu de e donner la main gauche, enfoncent chacune un stylet nétallique dans une goutte d'eau placée sur un corps solant. En substituant la flamme à la goutte d'eau, a communication est interceptée, et ne se rétablit, comme dans les gymnotes, que lorsque les deux styets se touchent immédiatement dans l'intérieur de la lamme.

Nous sommes bien loin, sans doute, d'avoir dévoilé ous les secrets de l'action électrique des poissons, qui est modifiée par l'influence du cerveau et des nerfs; mais es expériences que nous venons de rapporter suffisent our prouver que ces poissons agissent par une électricité *dissimulée*, et par des appareils électro-moteurs l'une composition particulière, qui se rechargent avec ine extrême rapidité. M. Volta admet que, dans les orpilles et les gymnotes, la décharge des électricités oposées se fait par leur propre peau, et que, dans le cas ù nous ne les touchons que d'une main, ou au moyen 'une pointe métallique, nous sentons l'effet d'un *choc itéral*, le courant électrique ne se dirigeant pas uniuement par le chemin le plus court. Lorsqu'on place 1e bouteille de Leyde sur un drap mouillé qui est auvais conducteur, et qu'on décharge la bouteille, de anière que le drap fasse partie de l'arc, des grenouilles réparées, placées à différentes distances, annoncent ir leurs contractions que le courant se répand dans le ap entier par mille routes diverses. D'après cette anagie, le coup le plus fort que le gymnote lance au loin serait qu'une faible partie du coup qui rétablit

l'équilibre dans l'intérieur du poisson (1). Comme le gymnote dirige son fluide où il veut, il faut admettre aussi que la décharge ne se fait pas par toute la peau à-la-fois; mais que l'animal, excité peut-être au moyen de la sécrétion d'un fluide versé dans une partie du tissu cellulaire, établit à volonté la communication entre ses organes et tel ou tel point de sa peau. On conçoit qu'un coup latéral hors de la chaîne doit devenir insensible dans les deux conditions d'une décharge très-faible ou d'un obstacle très-grand qu'opposent la nature et la longueur du conducteur. Malgré ces considérations, il me paraît bien surprenant que, dans la torpille, des commotions très-fortes en apparence ne se soient pas

---

(1) Les poles hétérogènes des organes électriques doubles doivent se trouver dans chaque organe. M. Todd a constaté récemment, par des expériences faites sur des torpilles du cap de Bonne-Espérance, que l'animal continue à donner de fortes commotions lorsqu'on extirpe un des organes. Au contraire, on arrête toute action électrique, et ce point, déjà éclairci par Galvani, est de la plus haute importance, soit en faisant une forte lésion au cerveau, soit en coupant les nerfs qui se répandent dans les feuillets des organes électriques. Dans ce dernier cas, les nerfs étant coupés sans léser le cerveau, la torpille continue de vivre et d'exercer tous les mouvemens musculaires. Un poisson fatigué par de trop nombreuses décharges électriques, était beaucoup plus souffrant qu'un poisson dans lequel on avait intercepté, par la section des nerfs, la communication entre le cerveau et les organes électro-moteurs. (*Philos. Trans.*, 1816, part. I, p. 120.)

propagées à la main, lorsqu'un plateau très-mince de métal est interposé entre la main et le poisson.

Le Dr Schilling avait annoncé que le gymnote s'approchait involontairement de l'aimant. Nous fûmes étonnés de voir cette même idée adoptée par M. Pozo. Nous avons essayé de mille manières cette prétendue influence de l'aimant sur les organes électriques, et nous n'avons jamais observé aucun effet sensible. Le poisson ne s'approchait pas plus d'un aimant que d'un barreau non aimanté. La limaille de fer jetée sur son dos resta immobile.

Les gymnotes, sujets de la prédilection et du plus vif intérêt des physiciens d'Europe, sont à-la-fois redoutés et détestés par les indigènes. Ils offrent, il est vrai, dans leur chair musculaire, un aliment assez bon; mais l'organe électrique occupe la plus grande partie du corps, et cet organe est baveux et désagréable au goût : aussi le sépare-t-on avec soin du reste du corps. On regarde d'ailleurs la présence des gymnotes comme la cause principale du manque de poissons dans les étangs et les mares des Llanos. Ils en tuent beaucoup plus qu'ils n'en mangent, et les Indiens nous ont dit que, lorsque dans des filets très-forts on prend à-la-fois de jeunes crocodiles et des gymnotes, ceux-ci n'offrent jamais des traces de blessure, parce qu'ils mettent hors de combat les jeunes crocodiles avant d'être attaqués par eux. Tous les habitans des eaux redoutent la société des gymnotes. Les lézards, les tortues et les grenouilles cherchent des mares où ils soient à l'abri de leur action. Près d'Uritucu, il a fallu changer la direction d'une route, parce que les anguilles électriques s'étaient tellement accumulées dans

une rivière, qu'elles tuaient, tous les ans, un grand nombre de mulets de charge qui passaient la rivière à gué.

Quoique, dans l'état actuel de nos connaissances, nous puissions nous flatter d'avoir répandu quelque jour sur les effets extraordinaires de poissons électriques, il reste à faire un grand nombre de recherches physiques et physiologiques. Les résultats brillans que la chimie a obtenus par le moyen de la pile ont occupé tous les observateurs, et les ont détournés pour quelque temps de l'examen des phénomènes de la vitalité. Espérons que ces phénomènes, les plus imposans et les plus mystérieux de tous, occuperont à leur tour la sagacité des physiciens. Cet espoir sera réalisé facilement si, dans une des grandes capitales de l'Europe, on parvient à se procurer de nouveau des gymnotes vivans. Les découvertes que l'on fera sur les appareils électro-moteurs de ces poissons, beaucoup plus énergiques (1) et plus fa-

---

(1) Pour connaître les phénomènes des appareils électro-moteurs vivans dans toute leur simplicité, et pour ne pas prendre des circonstances qui dépendent du degré d'énergie des organes pour des conditions générales, il faut soumettre aux expériences les poissons électriques les plus faciles à apprivoiser. Si l'on ne connaissait pas les gymnotes, on pourrait croire, d'après les observations faites sur les torpilles, que les poissons ne lancent pas leurs coups de loin, à travers des couches d'eau très-épaisses ou *sans chaîne*, le long d'une barre de fer. M. Williamson a senti de vives commotions lorsqu'il tenait une seule main dans l'eau, et que cette main, sans toucher le gymnote, était placée entre celui-ci

ciles à conserver que les torpilles, s'étendront sur tous les phénomènes du mouvement musculaire soumis à la volonté. On trouvera peut-être que, dans la plupart des animaux, chaque contraction de la fibre musculaire est précédée par une décharge du nerf dans le muscle, et que le simple contact de substances hétérogènes est une source de mouvement et de vie dans tous les êtres organisés. Un peuple vif et ingénieux, les Arabes, avaient-ils deviné, depuis une haute antiquité, que la même force qui, dans les orages, enflamme la voûte du ciel, est l'arme vivante et invisible des habitans des eaux? On assure que le poisson électrique du Nil (1) porte, en Egypte, un nom qui signifie le *tonnerre*.

---

et le petit poisson vers lequel se dirigeait le coup à 10 ou 15 pouces de distance. (*Phil. Trans.*, t. LXV, p. 99-108.) Quand le gymnote était affaibli (en mauvais état de santé), le *coup latéral* était insensible, et pour avoir une commotion, il fallait former une chaîne et toucher le poisson des deux mains à-la-fois. Cavendish, dans ses expériences ingénieuses sur une *torpille artificielle*, a très-bien observé ces différences, selon que la charge était plus ou moins énergique. (*Phil. Trans.*, 1776, p. 212.)

(1) (*Ann. du Mus.*, t. I, p. 398). Il paraît cependant qu'il faut distinguer entre *radh*, tonnerre, et *rahadd*, le poisson électrique; et que ce dernier mot signifie simplement *qui fait trembler*. (Silv. de Sacy, dans *Abd-Allatif*, p. 167.)

Extrait *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 26 juillet 1819.

M. Fourier lit un *Mémoire d'Arithmétique politique sur le Mouvement de la population.* (Nous le ferons connaître.)

M. Berthollet, au nom d'une commission, rend compte du *Mémoire* que M. Chevreul avait présenté *sur le Beurre de vache.* (Nous publierons l'extrait du Mémoire.)

Au nom d'une commission, M. Girard fait un rapport sur un nouveau *Mémoire* de M. Cachin, servant de supplément à celui qu'il avait déjà présenté *sur les digues de Cherbourg et de Plymouth.* (Nous nous proposons de consacrer un article détaillé à cette importante discussion.)

M. Moreau de Jonnès lit un *Mémoire sur les Poissons toxico-fères des Antilles.*

M. Beudant achève la lecture, qu'il avait commencée dans les deux dernières séances, de son *Mémoire sur le terrain des environs de Chemnitz.*

Séance du lundi 2 août.

M. Lerebours demande des commissaires pour une lunette achromatique de 7 pouces 4 lignes d'ouverture qu'il a déposée à l'Observatoire.

M. Duméril, au nom d'une commission, fait un rapport sur les appareils galvaniques de M. Aldini, et sur le Mémoire dont ces appareils étaient accompagnés.

M. Aldini annonce que le galvanisme peut être employé avec avantage pour rappeler à la vie les individus asphyxiés : les commissaires, sans nier le fait, pensent que la médecine a encore besoin, à ce sujet, d'expériences positives.

M. Brongniart lit un *Rapport sur le moule d'une tribolite envoyé d'Amérique par M. Hosack.*

M. Biot lit un *Rapport sur un nouvel instrument à corde et à archet présenté par M. Savard.* (Nous le publierons.)

M. Cauchy lit une *Note sur un météore lumineux observé à Paris, et jusqu'à cinq lieues de distance*, et *qui a disparu au zénith.*

Les conclusions que M. Cauchy a déduites, relativement à la hauteur du météore, des renseignemens qui lui ont été fournis, ne nous paraissent pas mériter une entière confiance. Nous connaissons, en effet, un observateur expérimenté qui a vu, à Paris, disparaître le météore, à une fort grande distance angulaire du zénith.

Séance du lundi 9 août.

M. Girodon annonce avoir construit une nouvelle pompe. Des commissaires sont chargés de l'examiner.

M. Morlet adresse un *Mémoire sur le Magnétisme terrestre.* Une commission rendra compte de ce travail.

M. Cauchy, au nom d'une commission, lit un *Rapport sur le Mémoire de M. Dulau relatif à la résistance du fer.*

Ce travail a paru très-digne de l'approbation de l'Académie. L'auteur ayant eu la complaisance de nous le communiquer, nous en donnerons prochainement un extrait détaillé.

Au nom d'une commission, M. Biot lit un *Rapport sur le nouveau télégraphe présenté par M.* Veillon.

Les conclusions du rapport sont que ce nouveau système ne mérite pas l'approbation de l'Académie.

Les commissaires qui étaient chargés d'examiner la nouvelle lunette de M. Lerebours rendent compte, par l'organe de M. Mathieu, du résultat de leurs épreuves.

La lunette a 2 décimètres (7 pouces 4 lignes) de diamètre, et près de 6 mètres de foyer. Elle porte toute son ouverture. Les images sont nettes et ne présentent pas de couleurs sensibles, même près des bords du champ. On apercevait avec cette lunette, sur le disque de Jupiter, une foule de détails qu'on pouvait à peine soupçonner avec d'autres instrumens.

L'Académie arrête qu'il sera donné des éloges et des encouragemens à l'habile artiste que nous venons de nommer.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire commence la lecture d'un *Mémoire sur le Tissu érectile, sa structure et ses fonctions comme organe électrique.*

M. Sarlandière présente un *Mémoire sur la Circulation, éclairée par la physiologie et la pathologie.* Une commission rendra compte de ce travail.

Séance du lundi 16 août.

Un *Mémoire* adressé par M. Martin, *sur un nouveau fait en hygrométrie*; le *Traité logico-mathématique* de M. Boillot, et un *Mémoire* de M. Desagneaux *sur les échappemens hydrauliques*, sont renvoyés à l'examen de différentes commissions.

On reçoit une lettre de M. Mirbel qui annonce la vacance d'une chaire au Jardin des Plantes, par la mort de M. Faujas-Saint-Fond.

La Section de Minéralogie, qui doit faire la présentation d'un candidat, étant momentanément incomplète, on lui adjoint trois nouveaux membres par la voie du scrutin : ce sont MM. Lacépède, Bosc et Lamarck.

Un anonyme propose de fonder un prix de 500 francs qui sera annuellement décerné à celui qui, au jugement de l'Académie, s'en sera rendu le plus digne en inventant ou en perfectionnant des instrumens utiles aux progrès de l'agriculture, des arts mécaniques et des sciences pratiques et spéculatives.

L'Académie, en approuvant le projet, arrête qu'on fera les démarches nécessaires pour obtenir l'agrément de Sa Majesté.

M. Biot lit son opinion sur les expériences présentées par M. Dutrochet au sujet d'une prétendue action que le corps humain aurait exercée sur les aiguilles aimantées. Il résulte des expériences de M. Biot que les mouvemens observés par M. Dutrochet dans les aiguilles, ne dépendent point de la cause à laquelle cet habile médecin les avait attribués.

M. Clément commence la lecture d'un grand *Mémoire* qu'il a fait, *sur les Machines à vapeur.*

M. Bonnard lit un *Mémoire sur la Classification des terrains.* Une commission rendra compte de ce Mémoire à l'Académie.

Séance du lundi 23 *août.*

M. de Jonnès continue la lecture de son *Mémoire sur les Poissons toxicofères.*

M. Clément achève la lecture de celui qu'il avait présenté dans la dernière séance. (Nous en rendrons compte après le rapport des commissaires.)

La Section de Minéralogie présente la liste suivante de candidats pour la place de professeur vacante au Jardin des Plantes : MM. Cordier, Brongniart et Brochant.

Séance du lundi 30 *août.*

M. Chevreul demande à déposer au Secrétariat un paquet cacheté contenant des expériences sur le zircon et la zircone.

Une lettre de M. le Baron de Synn-Strom sur les moyens d'arrêter les mauvais effets de divers météores est renvoyée à l'examen d'une commission.

M. Girard lit des observations sur les phénomènes de l'équilibre des liquides dans les tubes capillaires.

M. Ameline, professeur à Caen, lit un *Mémoire* intitulé : *Nouveau Procédé pour l'étude de l'anatomie.* Les modèles dont se sert M. Ameline ont été mis sous les yeux de l'Académie.

On procède au scrutin pour la nomination d'un can-

didat à la place de professeur de géologie au Jardin des Plantes.

M. Cordier réunit la majorité des suffrages.

On lit un *Mémoire* de M. d'Hombres-Firmas, *pour servir à l'histoire naturelle des pétrifications des Cévennes.* Une commission est nommée pour examiner ce travail.

EXTRAIT *d'une Lettre de M.* Lucas *fils à M.* Arago, *datée de Messine le* 31 *juillet* 1819.

« PARMI les concrétions salines de diverse nature qui tapissent les parois ou couvrent le sol du cratère de Vulcano, il en est une qui, par sa blancheur éclatante et son extrême légèreté, a surtout attiré notre attention. On la trouve plus particulièrement sur le sol et dans les parties les plus chaudes, là où de nombreuses fissures laissent dégager presque continuellement des vapeurs aqueuses à peine visibles. Elles sont quelquefois souillées et plus rarement mélangées de soufre natif. Ces croûtes salines ont ordinairement un à deux centimètres d'épaisseur, et leur surface trois à quatre décimètres. Leur tissu est plutôt écailleux que testacé, et quelquefois fibreux. La finesse et la douceur des petites lames nacrées et légères qui les composent, jointes à leur saveur un peu aigrelette, m'avait fait conjecturer que ces concrétions étaient formées d'*acide borique*. Ce soupçon a été changé en certitude, d'après les épreuves auxquelles les a soumises D. Gioacchino-Arrosto, pharmacien de cette ville (Messine), qui possède des connaissances très-étendues en physique et en chimie. L'on peut donc ajouter le cratère de Vulcano à la liste peu étendue des lieux où se trouve l'acide borique libre ou natif (1).

» Je saisis avec empressement, Monsieur, etc., etc. »

---

(1) L'acide sulfurique libre, mais délayé dans une grande quantité d'eau, distille en abondance des concrétions de chaux sulfatée et d'alumine sulfatée qui couvrent certaines parois du cratère du même volcan, jadis brûlant et aujourd'hui converti en solfatare.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTRE. maxim.	minim.	ÉTAT DU CIEL à midi.	VENTS
1	758,40	+25,0	59	757,00	+28,7	49	756,50	+29,8	38	756,00	+23,7	53	+30,2	+17,2	Nuageux et trouble.	S.
2	754,45	+22,6	76	753,68	+26,8	58	752,05	+26,0	53	752,35	+17,7	93	+28,8	+17,7	Nuageux et trouble.	N. N. O.
3	753,40	+17,2	82	754,13	+19,1	72	753,84	+18,9	74	754,20	+15,9	82	+19,1	+15,5	Couvert.	O.
4	753,60	+17,0	89	753,60	+17,5	89	753,60	+18,1	81	754,14	+15,5	98	+18,1	+14,7	Pluie fine.	O.
5	754,00	+15,9	92	754,70	+17,1	96	755,26	+17,7	93	757,10	+16,5	96	+18,0	+14,0	Pluie fine, brouill.	O.
6	758,72	+18,9	88	758,72	+23,0	68	758,20	+23,2	66	758,27	+17,2	64	+23,2	+16,3	Très nuageux.	O.
7	758,22	+19,8	82	758,03	+23,9	64	757,63	+23,8	64	758,28	+15,6	82	+23,9	+15,0	Couvert.	O.
8	758,60	+18,2	81	758,30	+21,5	68	758,40	+21,7	64	759,53	+16,2	78	+21,8	+13,6	Nuageux.	N. O.
9	760,98	+18,7	66	760,80	+21,0	54	760,10	+21,8	48	759,70	+18,0	65	+21,8	+11,2	Nuageux.	N.
10	758,84	+19,7	65	758,32	+21,8	53	757,32	+22,5	52	756,66	+16,9	78	+22,5	+13,2	Nuageux.	N. E.
11	755,76	+21,0	72	755,24	+23,7	62	754,50	+25,6	50	754,60	+20,5	80	+25,6	+13,2	Nuageux.	N. E.
12	755,04	+25,1	60	754,77	+26,4	50	754,20	+26,2	45	754,92	+20,0	63	+26,4	+15,8	Nuuageux.	N.
13	756,16	+24,0	65	756,33	+25,6	68	756,27	+26,2	60	757,50	+19,6	73	+26,2	+15,5	Trouble et nuageux.	O.
14	758,63	+22,5	68	758,11	+25,5	58	757,52	+26,0	54	758,26	+18,9	82	+26,0	+15,0	Nuageux.	N. O.
15	759,40	+20,2	78	759,23	+22,8	64	758,87	+21,7	64	760,22	+17,8	76	+22,8	+14,7	Très-nuageux.	N. faible.
16	761,57	+21,5	72	761,52	+23,8	54	760,86	+24,5	50	761,70	+19,0	70	+24,5	+14,0	Très-nuageux.	N. E.
17	762,44	+21,7	69	762,18	+23,9	62	761,53	+23,6	57	761,95	+19,6	92	+23,9	+15,0	Très-nuageux.	N.
18	762,70	+18,7	79	762,33	+20,7	70	761,83	+22,8	65	761,67	+18,9	74	+22,8	+16,0	Couvert.	N. E.
19	760,30	+19,1	70	759,40	+20,6	59	758,60	+22,6	51	758,86	+18,8	6[illegible]	+22,6	+13,2	Nuageux.	N.N.E. f.
20	759,70	+19,0	75	759,40	+22,8	50	758,97	+23,9	50	759,02	+19,5	64	+23,9	+13,0	Beau.	N. E.
21	759,78	+21,5	70	759,16	+24,1	54	758,25	+24,8	53	757,98	+19,7	76	+24,8	+14,2	Nuageux.	N. E. fort
22	757,78	+19,9	82	757,10	+24,0	60	756,40	+25,2	48	756,95	+20,9	68	+25,2	+15,5	Nuageux.	N. E.
23	756,96	+22,0	64	756,50	+24,2	57	755,74	+25,6	50	755,84	+21,7	60	+25,6	+16,0	Nuageux.	N. E.
24	756,50	+24,0	64	756,02	+25,9	53	755,18	+26,2	51	754,50	+20,5	65	+27,5	+16,1	Légers nuages.	S.
25	753,90	+23,2	71	753,23	+27,8	58	752,80	+26,0	53	753,40	+21,4	74	+27,8	+16,0	Très-nuageux.	N. O.
26	755,44	+18,8	90	755,44	+23,0	70	755,10	+22,6	66	756,12	+19,7	70	+23,0	+16,2	Nuageux.	N.
27	757,13	+19,2	71	756,74	+21,5	54	755,80	+22,2	45	756,27	+18,8	54	+22,2	+13,8	Pet. nuag. à l'horiz.	N. E.
28	755,50	+20,0	68	754,90	+22,5	55	753,93	+22,8	51	753,27	+16,5	75	+22,3	+12,1	Nuageux.	O.
29	751,93	+18,2	96	751,23	+23,8	78	750,40	+19,2	68	749,64	+17,5	80	+23,8	+15,2	Très-nuageux.	S. O.
30	745,16	+19,1	90	743,10	+24,0	71	741,04	+23,6	60	742,63	+15,7	81	+24,0	+15,5	Très-nuageux.	S.
31	747,05	+15,6	67	747,89	+15,8	67	747,62	+17,0	59	746,24	+11,6	96	+17,9	+11,0	Pluie.	S.O. fort.
1	756,92	+19,3	78	756,73	+22,0	67	756,29	+22,3	63	756,65	+17,3	79	+22,7	+14,8	Moyennes du 1 au 10.	
2	759,17	+21,3	71	758,85	+23,6	60	758,33	+24,3	55	758,87	+19,3	73	+24,5	+14,5	Moyennes du 11 au 20.	
3	754,28	+20,1	76	753,75	+23,3	62	752,93	+23,2	55	752,99	+18,5	73	+24,1	+14,7	Moyennes du 21 au 31.	
	756,71	+20,2	75	756,36	+23,0	63	755,75	+23,3	57	756,07	+18,4	75	+23,8	+14,7	Moyennes du mois	+ 19,2.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

RAPPORT *fait par M.* Arago *à l'Académie des Sciences, au nom de la Commission qui était chargée d'examiner les Mémoires envoyés au concours pour le prix de la diffraction.* Page 5

Sur la Figure de la Terre; par M. de Laplace. — *Note du Rédacteur.* 31

Sur l'Oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau. 40

Description d'un principe acide extrait de l'acide lithique ou urique; par William Prout. (*Extrait.*) 48

Expériences pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques qui servent de base aux calculs des proportions chimiques; par J. Berzelius. 58

Nouveaux détails sur le Cadmium; par M. Stromeyer. 76

Nouvelles observations sur l'eau oxigénée; par M. Thenard. 85

Extrait d'une Lettre de M. Pierre Prevost *à M.* Arago *sur les vents que l'on éprouve dans les orages.* — *Note du Rédacteur.* 87

Expériences sur le nouvel acide produit par la distillation de l'acide sorbique; par M. J.-L. Lassaigne. 93

Extrait des Séances de l'Académie royale des Sciences. 97
Analyse de la bile du Coaita fauve; par MM. A. Chevallier *et* J.-L. Lassaigne. 104
Examen chimique de la bile du Couguar. 106
Remarque sur la décomposition des chlorures d'oxide par le nitrate d'argent. 108
Conservation de l'eau douce en mer. 110
Sur la manière de greffer les arbres en écusson. Ib.
Procédé pour faire rapporter du fruit aux vieux arbres. 111
Observations météorologiques du mois de mai. 112

Suite des Expériences pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques qui servent de base aux calculs des proportions chimiques; par J. Berzelius. 113
Des Marais Pontins; par M. de Prony. (*Extrait.*) 126
De la Richesse minérale, ou *Considérations sur les Mines et Usines, etc.; par* A. M. Héron de Villefosse. (*Extrait.*) 180
Lettre à M. Gay-Lussac *sur un nouvel alcali végétal découvert par MM.* Lassaigne *et* Feneulle. 188
Nouvelle Pile à deux élémens, et perfectionnemens de la pile sèche; par M. Zamboni. 190
Analyse de l'Eau de la mer Morte. — Essai de l'eau du Jourdain; par M. Gay-Lussac. 195
Extrait des Séances de l'Académie royale des Sciences. 198
Vodanium, nouveau métal découvert par M. Lampadius. (*Extrait.*) 201

Sur l'Acide borique; par M. Robiquet. 203

Sur le Fer oxidulé; par M. Robiquet. 206

Sur la Préparation de l'eau oxigénée; par M. Thenard. 208

Analyse chimique de l'Euclase; par M. Berzelius. 216

Sur la Comète à courte période de 1818. 219

Sur les deux Comètes de 1819. 221

Observations météorologiques du mois de juin. 224

Suite des Expériences pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques qui servent de base aux calculs des proportions chimiques; par J. Berzelius. 225

Mémoire sur la Diffraction de la lumière; par M. Fresnel. 246

Premier Mémoire sur la Dissolubilité des sels dans l'eau; par M. Gay-Lussac. 296

Extrait des Séances de l'Académie royale des Sciences. 315

De l'Effet des gouttes de pluie sur les plantes lorsqu'elles se trouvent disposées de manière à concentrer les rayons du soleil; par Bénédict Prévost. 318

Particularités relatives à un fort tremblement de terre qui se fit sentir à Lisbonne le 2 *février* 1816. 323

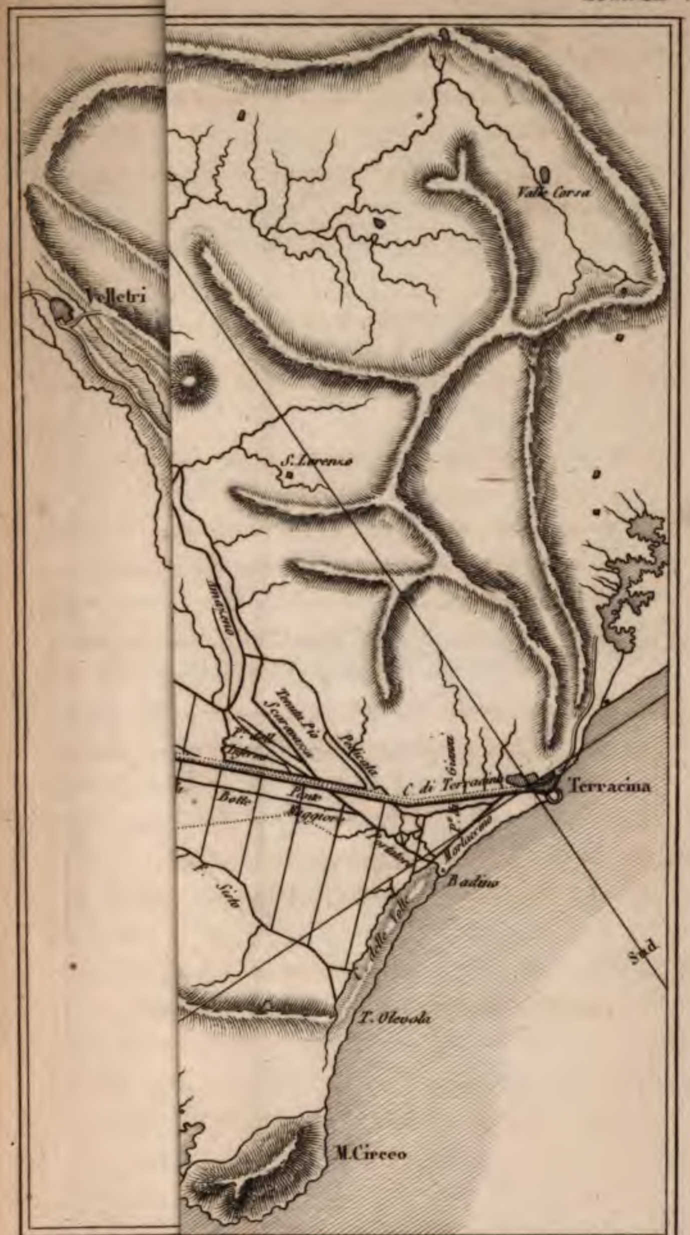
Quelques nouveaux détails sur la Comète de 1819. 325

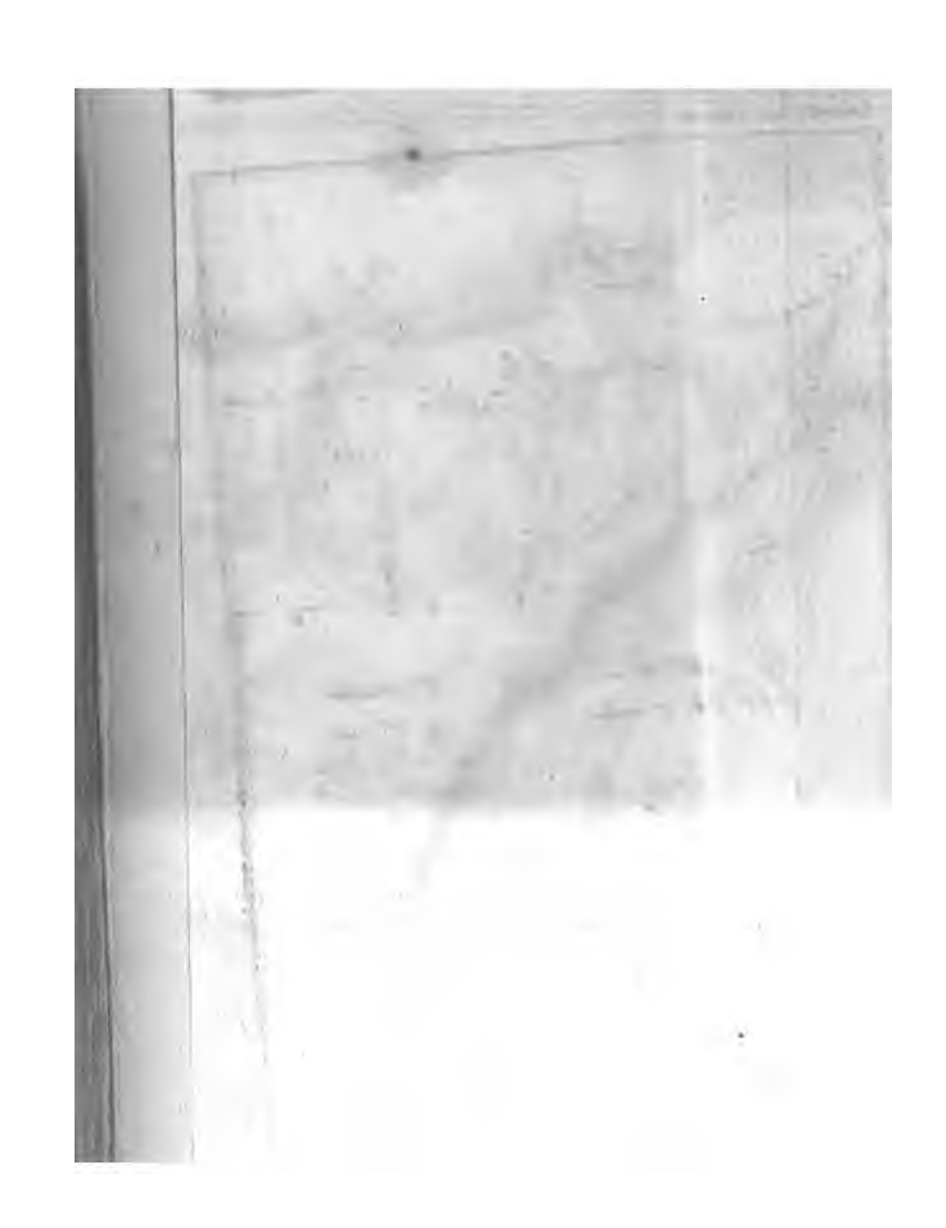
Nouveau Moyen de faire des microscopes simples de verre, proposé et exécuté par Thomas Sivright, *membre de la Société royale d'Edimburgh, etc.* 327

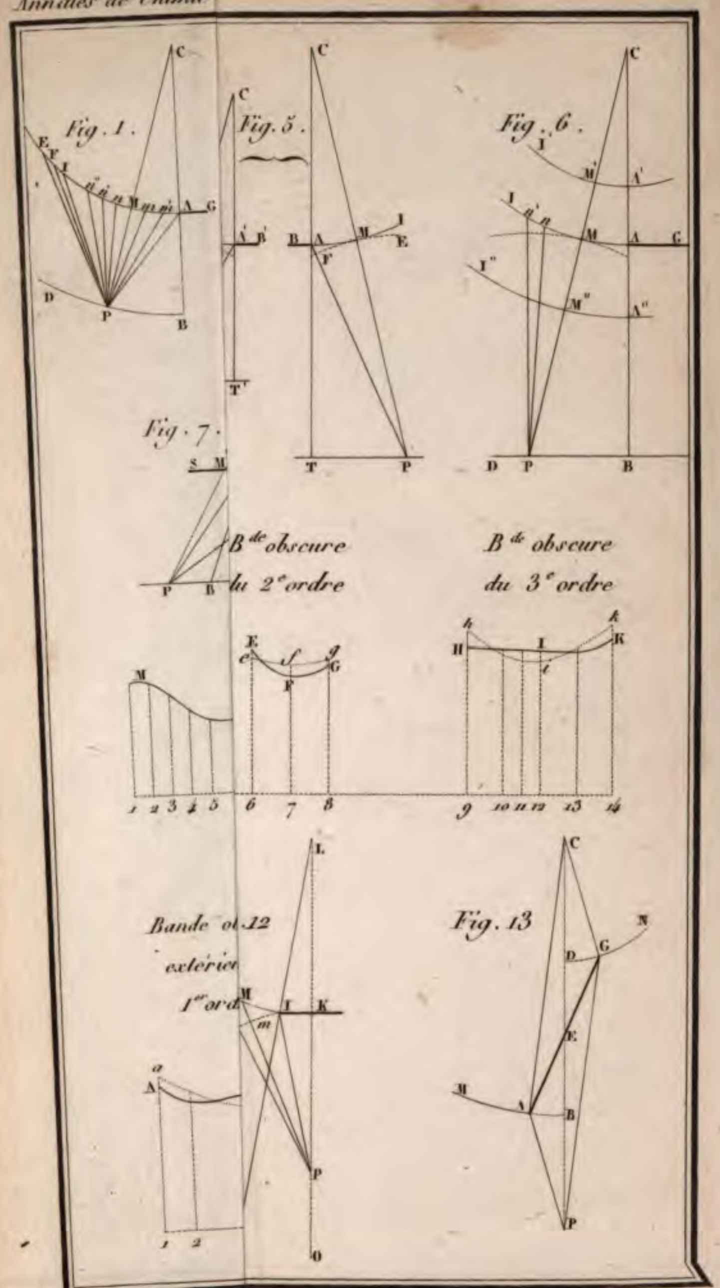
Expériences sur la structure et le pouvoir réfringent des humeurs contenues dans l'œil de l'homme; par M. Brewster. 330
Sur les Variations diurnes et annuelles de l'aiguille aimantée. 332
Nouvelle Expédition des Anglais vers le pole nord. 335
Observations météorologiques du mois de juillet. 336

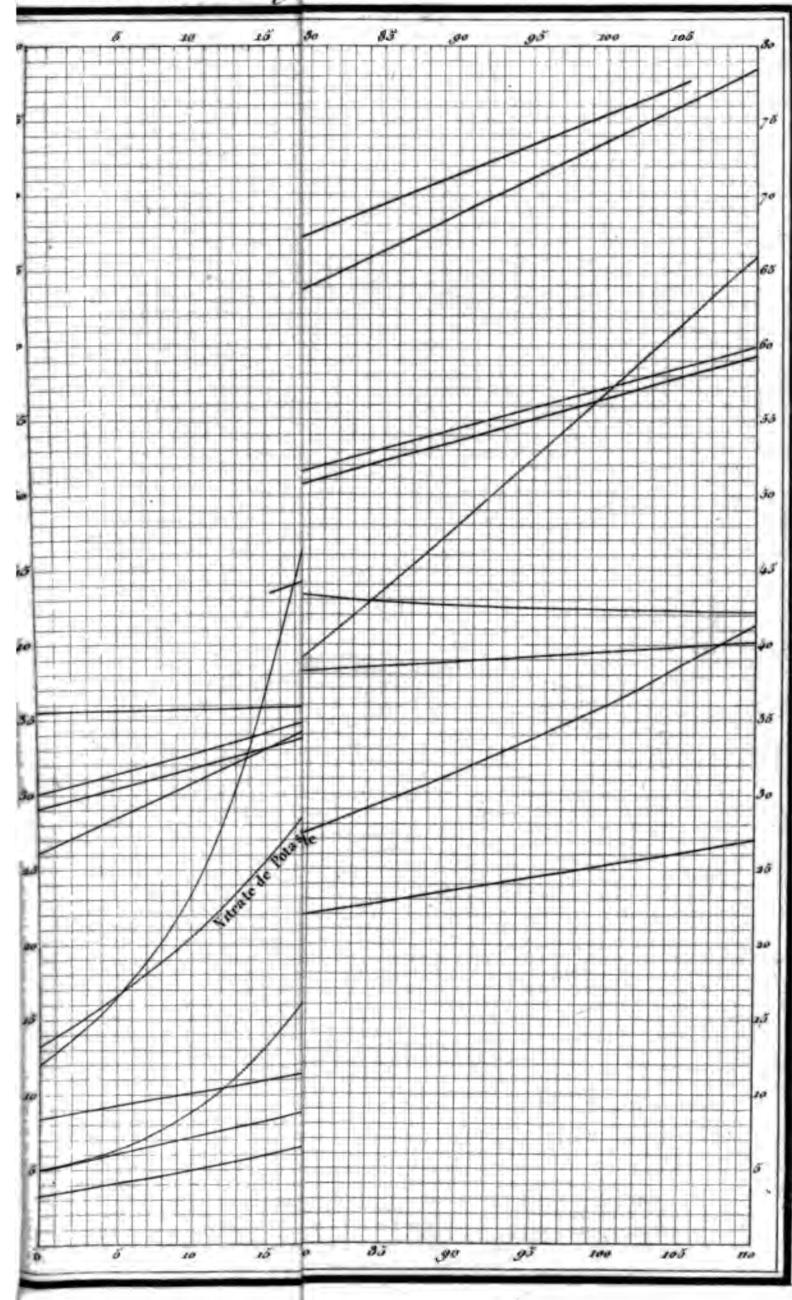
Suite du Mémoire sur la Diffraction de la lumière; par M. Fresnel. 337
Observations sur la Décomposition de l'amidon à la température atmosphérique, par l'action de l'air et de l'eau; par M. Théodore de Saussure. 379
Sur les Gymnotes et autres poissons électriques; par M. Alex. de Humboldt. 408
Extrait des Séances de l'Académie royale des Sciences. 438
Extrait d'une Lettre de M. Lucas, *fils*, *à M.* Arago, *datée de Messine le* 31 *juillet* 1819, *sur quelques concrétions salines qui tapissent le cratère de Vulcano.* 443
Observations météorologiques du mois d'août. 444
Table des Matières du onzième Volume. 445

FIN DE LA TABLE DU ONZIÈME VOLUME.


Velletri
Valle Corsa
S. Lorenzo
Amaseno
Scaramucca
Pedicata
Bott
Ponte Maggiore
F. Sisto
C. di Terracina
Terracina
Mortacino
Badino
Sud
T. Olevola
M. Circeo




Fig. 1.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
B^de obscure
du 2e ordre
B^de obscure
du 3e ordre
Bande ob. 12
extérie
1er ord
Fig. 13



Nitrate de Potasse
5 10 15 80 85 90 95 100 105
80 75 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5
0 5 10 15 0 85 90 95 100 105 110

